



Vlaanderen
is wetenschap

00_031_29
WL rapporten

Overleg flexibel storten Advies stortstrategie MC6

Deelrapport 29
Analyse van de waterbeweging,
het sedimenttransport en de morfologie in macrocel 6

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Overleg flexibel storten - Advies stortstrategie MC6

Deelrapport 29 -
Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en
de morfologie in macrocel 6

Plancke, Y.; Schrijver, M.; Meire, D.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2019
D/2019/3241/048

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Plancke, Y.; Schrijver, M.; Meire, D.; Mostaert, F. (2019). Overleg flexibel storten - Advies stortstrategie MC6: Deelrapport 29 - Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie in macrocel 6. Versie 4.0. WL Rapporten, 00_031_29. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen & Rijkswaterstaat Zee & Delta: Middelburg.

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

| | | | |
|-----------------|---|--|------------------|
| Opdrachtgever: | Overleg Flexibel Storten | Ref.: | WL2019R00_031_29 |
| Keywords (3-5): | Schelde, waterbeweging, sedimenttransport, morfologie | | |
| Tekst (p.): | 25 | Bijlagen (p.): | 3 |
| Vertrouwelijk: | <input checked="" type="checkbox"/> Nee | <input checked="" type="checkbox"/> Online beschikbaar | |

| | |
|------------|----------------------------|
| Auteur(s): | Plancke, Y.; Schrijver, M. |
|------------|----------------------------|

Controle

| | Naam | Handtekening |
|----------------|-------------|---|
| Revisor(en): | Meire, D. | Getekend door: Dieter Meire (Signature) Getekend op: 2019-08-06 13:52:51 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Dieter Meire</i> |
| Projectleider: | Plancke, Y. | Getekend door: Yves Plancke (Signature) Getekend op: 2019-08-22 13:56:36 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Yves Plancke</i> |

Goedkeuring

| | | |
|-----------------|--------------|---|
| Afdelingshoofd: | Mostaert, F. | Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2019-08-13 09:09:11 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i> |
|-----------------|--------------|---|



Abstract

In het kader van de onderhoudsbaggerwerken van de vaargeul in de Westerschelde wordt het sediment teruggestort deels in de hoofdgeulen, deels in de nevengeulen en deels langs een aantal plaatranden. Bij de opvolging van deze stortstrategie worden jaarlijks een aantal kwaliteitsparameters getoetst. In macrocel 6 voorziet de vergunning een stortzone in de nevengeul die tot op heden nog niet gebruikt is geweest. Gelet op de reductie in feitelijke stortcapaciteit, stelt zich de vraag of deze stortzone ingezet kan worden voor het terugstorten van onderhoudsspecie.

Om deze vraag te onderzoeken, wordt in dit rapport een analyse uitgevoerd van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie in macrocel 6. Deze analyse onderzoekt de invloed van de stortstrategie op deze kwaliteitsparameters. Uiteindelijk wordt er een voorstel geformuleerd voor de toekomstige stortstrategie in macrocel 6, rekening houdend met de randvoorwaarden uit de vigerende vergunning.

Inhoudstafel

| | |
|--|------|
| Abstract | III |
| Inhoudstafel..... | V |
| Lijst van de tabellen..... | VII |
| Lijst van de figuren | VIII |
| 1 Inleiding | 1 |
| 1.1 Onderzoeksvragen..... | 1 |
| 1.2 Leeswijzer | 1 |
| 2 Systeembeschrijving | 2 |
| 3 Ingrepen..... | 3 |
| 3.1 Baggeren..... | 3 |
| 3.2 Storten | 4 |
| 4 Waterbeweging | 6 |
| 4.1 Getij | 6 |
| 4.2 Debieten en watervolumes | 6 |
| 4.3 Stromingen | 9 |
| 4.3.1 Metingen | 9 |
| 4.3.2 Modelling | 9 |
| 4.3.3 Eb-vloed dominantie op basis van stroming | 12 |
| 5 Sedimenttransport | 13 |
| 5.1 Modelling | 13 |
| 5.1.1 Methode | 13 |
| 5.1.2 Resultaten..... | 13 |
| 5.2 Afgeleid uit migratie van bodemvormen | 15 |
| 5.2.1 Methode | 15 |
| 5.2.2 Berekening op basis van migratiesnelheid | 15 |
| 5.2.3 Berekening op basis van verplaatste sediment volumes | 16 |
| 5.2.4 Resultaten..... | 17 |
| 6 Morfologie | 19 |
| 6.1 Morfologische ontwikkeling op de lange termijn..... | 19 |
| 6.1.1 Algemeen..... | 19 |
| 6.2 Watervolumes geulen | 21 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.2.1 | Hoofdgeul | 21 |
| 6.2.2 | Nevengeul..... | 21 |
| 7 | Conclusies en aanbevelingen | 23 |
| 7.1 | Voorstel stortstrategie | 23 |
| 7.1.1 | Hoofdgeul SH61 | 23 |
| 7.1.2 | Nevengeul SN61 | 23 |
| 7.2 | Aanbevelingen | 24 |
| 8 | Referenties | 25 |
| | Bijlage A – Topo-bathymetrie macrocel 6 | B1 |

Lijst van de tabellen

| | |
|--|---|
| Tabel 1 – Overzicht gebaggerde hoeveelheden [m ³ in beun] | 3 |
| Tabel 2 – Overzicht gestorte hoeveelheden [m ³ in beun]..... | 5 |

Lijst van de figuren

| | |
|--|----|
| Figuur 1 – Overzicht geulen en platen in macrocel 6 | 2 |
| Figuur 2 – Overzicht stortlocaties in macrocel 6 | 4 |
| Figuur 3 – Gemiddeld hoogwater (boven), laagwater (midden) en getijverschil (onder) voor periode 1950 - 2015 | 7 |
| Figuur 4 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven en midden) en relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 2 | 8 |
| Figuur 5 – Overzicht van de gemeten stroomsnelheden op debietraai 2 | 10 |
| Figuur 6 – Overzicht van de stroomsnelheden bij vloed | 11 |
| Figuur 7 – Overzicht van de stroomsnelheden bij eb | 11 |
| Figuur 8 – Overzicht van de residuele stroming voor macrocel 5 op basis van bodem 2010 (boven) en 2017 (onder) | 12 |
| Figuur 9 – Netto sedimenttransport [$m^3/m/s$] op basis van hydrodynamische simulatie en offline sediment transport | 14 |
| Figuur 10 – Overzicht parameters gebruikt voor het berekenen van het bodemtransport | 16 |
| Figuur 11 – Overzicht MBES peilingen (boven, links 28/11/2017 en rechts 12/12/2017) en verschilkaart (onder), incl. ligging raaien | 17 |
| Figuur 12 – Overzicht afgeleide sedimenttransporten ter hoogte van SN61 | 18 |
| Figuur 13 – Overzicht afgeleide sedimenttransporten ter hoogte van de Plaat van Walsoorden | 18 |
| Figuur 14 – Dieptecontouren (0, -5, -10, -15 en -25 mNAP) voor MC6: 1980 (stippenlijn), 2000 (streepjeslijn) en 2016 (volle lijn) | 20 |
| Figuur 15 – Afbakening geulen macrocel 5 | 21 |
| Figuur 16 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de hoofdgeul van macrocel 6 | 22 |
| Figuur 17 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de nevengeul van macrocel 6 | 22 |
| Figuur 18 – Ontwikkeling van oppervlakte ondiepwatergebied: 1982 (links) en 1996 (rechts) in de nevengeul van macrocel 6 | 22 |
| Figuur 19 – Voorstel stortvakken (arcering) binnen stortzone SN61 | 24 |
| Figuur 20 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 6 voor 1980 (boven) en 1990 (onder) | B1 |
| Figuur 21 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 6 voor 2000 (boven) en 2010 (onder) | B2 |
| Figuur 22 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 6 voor 2016 | B3 |

1 Inleiding

In het kader van de verruiming van de vaargeul in de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde werd een stortstrategie ontwikkeld waarbij de onderhoudsspecie deels in de hoofdgeulen, deels in de nevengeulen en deels langs een aantal plaatranden wordt teruggestort. Deze strategie werd ook na het aflopen van de vergunningstermijn van 5 jaar verdergezet in de vigerende vergunning. Een intensief monitoringprogramma “MONEOS-T” (Schrijver & Plancke, 2008) levert de benodigde informatie om de effecten van de stortstrategie te beoordelen. Dit gebeurt aan de hand van een aantal kwaliteitsparameters, die in het “Protocol voorwaarden flexibel storten – kwaliteitsparameters” (Rijkswaterstaat Zeeland *et al.*, 2008) zijn vastgelegd. Jaarlijks worden deze kwaliteitsparameters getoetst door het overleg Flexibel Storten. De stortstrategie kan (uit voorzorg) worden aangepast wanneer bepaalde criteria (dreigen) overschreden¹ (te) worden.

1.1 Onderzoeksvragen

In de afgelopen jaren werd door het Overleg Flexibel storten de beslissing genomen om bepaalde vergunde stortzones (tijdelijk) niet meer te gebruiken, omwille van het overschrijden van bepaalde criteria uit het protocol of omwille van voorzichtigheid. Hierdoor is de feitelijke stortcapaciteit in de Westerschelde sterk gereduceerd en rijst de vraag of bepaalde stortzone toch niet kunnen worden gebruikt. Concreet stelt zich de vraag of de stortzone SN61, gelegen in de nevengeul van macrocel 6, gebruikt kan worden voor het terugstorten van onderhoudsspecie.

Om antwoord te geven op deze vraag, voorziet het voorliggend rapport een beschrijving van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie in macrocel 6. Dit rapport is qua opzet gelijkaardig aan eerdere rapporten waarin deze aspecten worden beschreven voor macrocel 1 (Y Plancke, Schrijver *et al.*, 2017) en macrocel 5 (Y Plancke, Schrijver *et al.*, 2017).

1.2 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van het studiegebied. Hierbij wordt ingegaan op de langjarige morfologische ontwikkelingen. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de ingrepen die in het gebied plaatsvinden. Hoofdstuk 4 richt zich op de waterbeweging in macrocel 6, hoofdstuk 5 op het sedimenttransport en hoofdstuk 6 op de morfologie. Hoofdstuk 7 focust tenslotte op de bezorgdheden en geeft een suggestie voor de optimale stortstrategie voor de volgende jaren.

¹ Voor bepaalde criteria zou de term “onderschreden” beter zijn. Dit is het geval voor het watervolume in de nevengeul dat groter moet zijn dan een bepaalde waarde. Wanneer het volume te klein wordt, wordt het criteria dus feitelijk “onderschreden”, maar er is in dit rapport toch gekozen om systematisch “overschreden” te gebruiken in relatie tot de criteria.

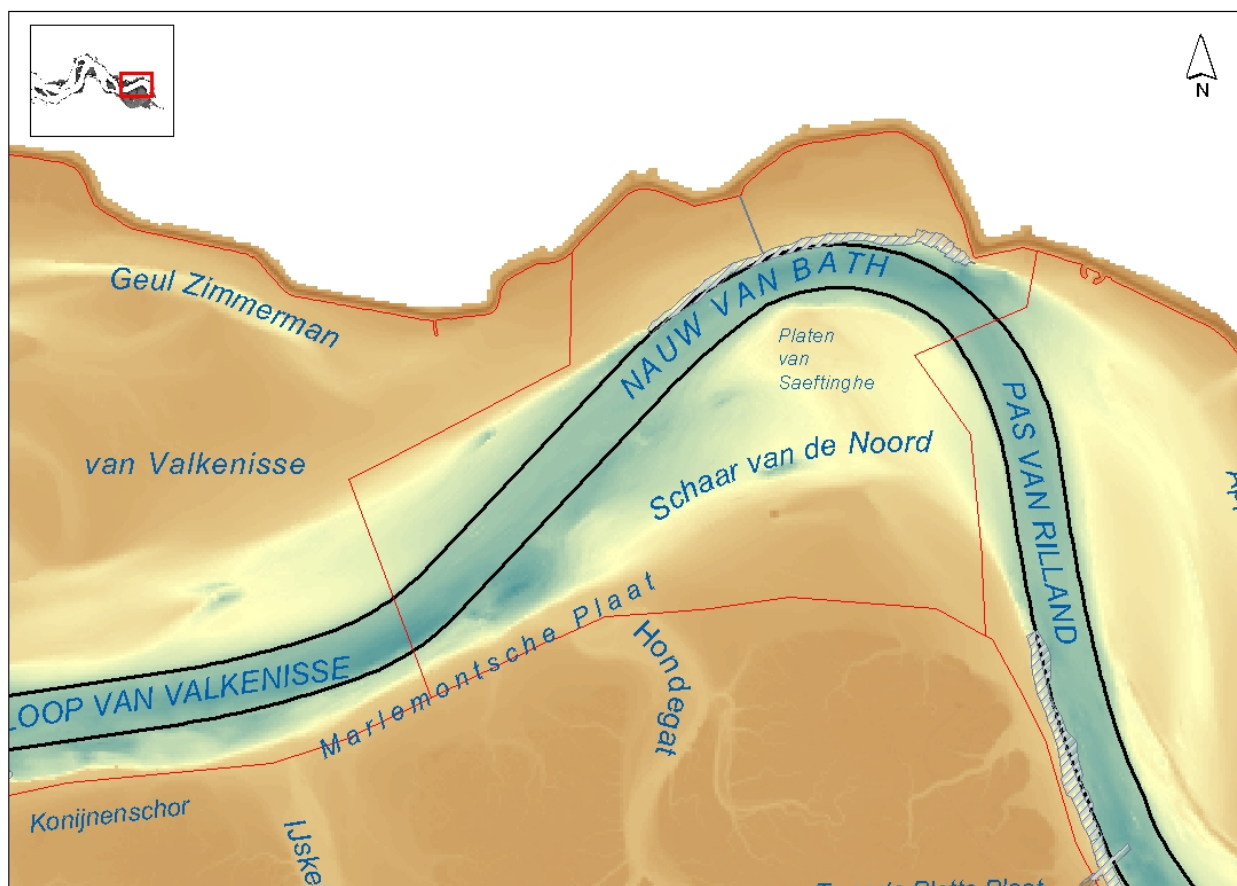
2 Systeembeschrijving

Macrocel 6 wordt gekenmerkt door 2 grote geulen en één platencomplex (Figuur 1). Deze macrocel wordt begrensd door de Drempel van Valkenisse in het westen en de Pas van Rilland in het oosten. Het geulensysteem in macrocel 6 is een tweegeulensysteem: de ebgeul ligt het meest noordelijk en wordt gevormd door het Nauw van Bath in het westen, welke overgaat in zuidoostelijke richting in de Bocht van Bath en de Pas van Rilland. De zuidelijk gelegen vloedschaar, Schaar van de Noord, vormt een doorsteek tussen het westelijk (Nauw van bath) en oostelijk (Pas van Rilland) deel van de ebgeul.

De enige plaat in deze macrocel is de Plaat van Saeftinghe. Tot enkele decennia terug bestond de plaat nog uit een areaal intergetijdengebied, echter momenteel resteert nog enkel een ondiepwater (minder dan 5 m onder laagwater) plateau ter hoogte van het vroegere plaatcomplex.

Langs de zuidelijke rand grenst de macrocel aan het Verdronken land van Saeftinghe, met de Marlemontsche Plaat als overgangszone tussen de geul en het uitgebreide slik- en schorgebied.

Figuur 1 – Overzicht geulen en platen in macrocel 6



3 Ingrepen

In macrocel 6 vindt geen zandwinning plaats. De ingrepen in deze macrocel beperken zich tot het baggeren en storten.

3.1 Baggeren

Op 12 februari 2010 is gestart met de 3^e verruiming van de vaarweg. Hierbij de is vaarweg verdiept tot een diepte van 14,50 m LAT (i.e. 13,1 m + 12,5% kielspeling), hetgeen de diepte is waarop de vaarweg wordt gehouden middels baggerwerkzaamheden. In macrocel 6 zijn er vier locaties waar wordt gebaggerd: de drempel van Valkenisse (op de grens met macrocel 5), de drempel van Bath, het Nauw van Bath (vanaf 2012 samengevoegd met de drempel van Bath) en het Vaarwater boven Bath (opwaartse zone, op grens met macrocel 7).

In Tabel 1 zijn de gebaggerde hoeveelheden weergegeven, afkomstig uit de baggerstatistiek die door afdeling Maritieme Toegang wordt gebruikt om de gebaggerde en gestorte hoeveelheden per locatie te registreren. In macrocel 6 wordt na de verruiming in 2010 gemiddeld 2 Mm³ per jaar aan onderhoudsspecie gebaggerd. De drempel van Valkenisse neemt hiervan 50% voor zijn rekening, terwijl de drempel van Bath ca. 45% voor zijn rekening neemt. De onderhoudsbaggerwerken op het Vaarwater boven Bath blijven jaarlijks beperkt tot minder dan 100.000 m³.

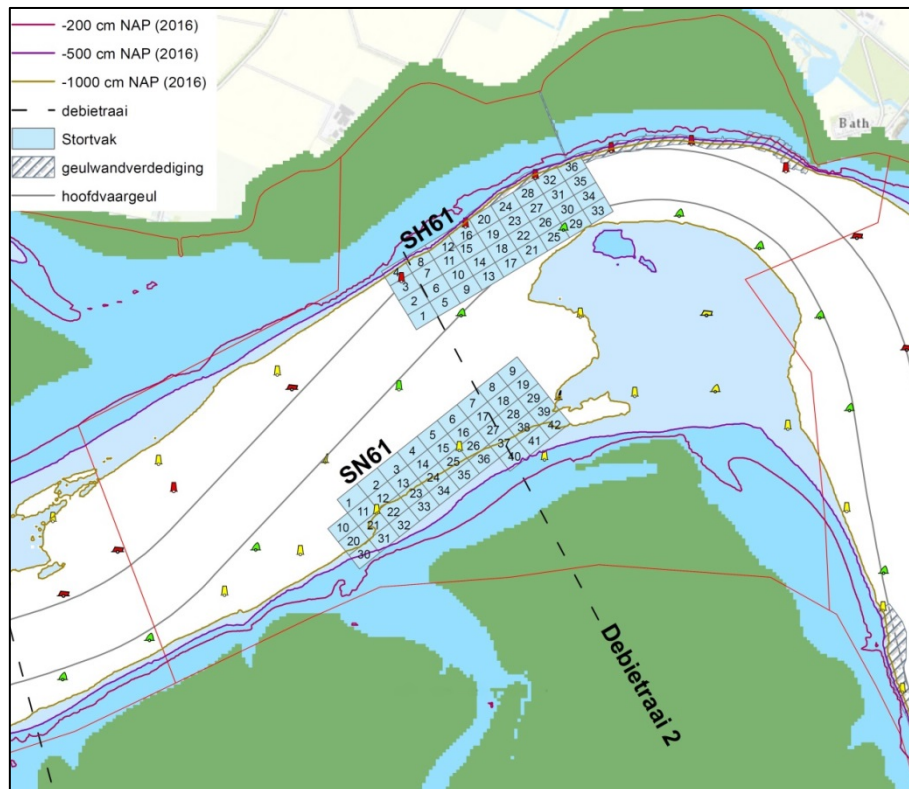
Tabel 1 – Overzicht gebaggerde hoeveelheden [m³ in beun]
In 2010 werd de verruiming van de vaargeul uitgevoerd en bevatten de hoeveelheden zowel aanleg als onderhoud.

| | Drempel Valkenisse | Drempel Bath | Nauw van Bath | Vaarwater boven Bath | TOTAAL |
|------|---------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|---------------|
| 2010 | 1.962.536 | 1.313.723 | 318.130 | 163.509 | 3.757.898 |
| 2011 | 1.360.649 | 1.249.560 | 95.833 | 50.509 | 2.756.551 |
| 2012 | 964.596 | 801.788 | | 114.660 | 1.881.044 |
| 2013 | 905.549 | 879.346 | | 65.550 | 1.850.445 |
| 2014 | 1.110.513 | 741.617 | | 63.136 | 1.915.266 |
| 2015 | 725.516 | 608.397 | | 58.750 | 1.392.663 |
| 2016 | 938.316 | 769.205 | | 70.421 | 1.777.942 |
| 2017 | 1.221.089 | 855.020 | | 58.491 | 2.134.600 |

3.2 Storten

In macrocel 6 zijn er twee vergunde stortlocaties, waarvan er tot op heden slechts één in gebruik is: één stortgebied in de nevengeul (SN61) dat vooraansnog niet gebruikt is en één stortgebied in de hoofdgeul (SH61). De locaties zijn weergegeven in Figuur 2.

Figuur 2 – Overzicht stortlocaties in macrocel 6



In Tabel 2 zijn de gestorte hoeveelheden in de periode februari 2010 – 31 december 2017 weergegeven. Het stortvak SN61 is tot op heden niet gebruikt. Bij aanvang van de verruiming bleek de morfologie van de Schaar van de Noord dermate gewijzigd te zijn, dat de afbakening van het vergunde stortvak niet meer goed samenviel met de contour van de geul in de Schaar van de Noord. Aangezien de ruimte om dit stortvak te bereiken met volgeladen baggerschepen zeer beperkt was en de nood om dit stortvak te gebruiken niet groot was, werd vanuit het Overleg Flexibel storten geconcludeerd om dit stortvak voorlopig niet te gebruiken.

Het stortvak SH61 wordt sinds 2011 gebruikt om een deel van de onderhoudsspecie in te storten. De vergunning voorziet een gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid van 700.000 m³. Gedurende de periode 2011-2013 werd deze hoeveelheid grotendeels benut. In de volgende jaren werd aanzienlijk minder gestort (Tabel 2), dit omwille van de stabiliteit van de gestorte specie. Wanneer grotere hoeveelheden zouden worden gestort, zou dit de toegankelijkheid in gedrang kunnen brengen (ondiepere zone die aanleiding kon geven tot de vorming van een nieuwe drempel) wat niet gewenst is.

De gestorte hoeveelheden zijn conform de vergunning afkomstig uit de macrocel waarin het gewonnen is, of de naastgelegen stroomopwaartse macrocel. Voor de stortlocaties in macrocel 6 betekent dit dat het materiaal afkomstig is uit macrocel 6 of macrocel 7.

Tabel 2 – Overzicht gestorte hoeveelheden [m³ in beun]

| | SH61 |
|------|-------------|
| 2010 | 0 |
| 2011 | 674.632 |
| 2012 | 685.180 |
| 2013 | 642.012 |
| 2014 | 233.507 |
| 2015 | 139.253 |
| 2016 | 149.717 |
| 2017 | 506.411 |

4 Waterbeweging

4.1 Getij

Figuur 3 geeft de ontwikkeling van het getij in het gebied weer. Als vergelijk zijn hierin de stations Cadzand, gelegen in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium en Vlissingen, gelegen aan de zeewaartse rand van de Westerschelde, meegenomen. Cadzand ondervindt vanwege zijn ligging geen invloed van ingrepen op de Westerschelde, waardoor een beeld van de verandering van de zeepiegel wordt verkregen.

Uit de figuren is af te lezen dat zowel in Vlissingen en Hansweert de gemiddelde hoog- en laagwaters toenemen sinds 1950. In Bath neemt het gemiddelde hoogwater toe, het gemiddelde laagwater neemt echter af. Deze afname is grotendeels toe te schrijven aan een daling in het laagwater in de jaren 1970. Voor 1970 en na 1980 blijft het laagwater quasi ongewijzigd. Het getijverschil in alle locaties vertoont een stijgende trend, die groter is naarmate het station verder oostwaarts ligt van Vlissingen. De toename van het getijverschil in Bath is aanzienlijk groter dan de toename van het getijverschil in de andere locaties. Op de Noordzee (Cadzand) is geen sprake van een toename van het getijverschil. De toename van het getijverschil is dus te wijten aan verandering in de Westerschelde zelf.

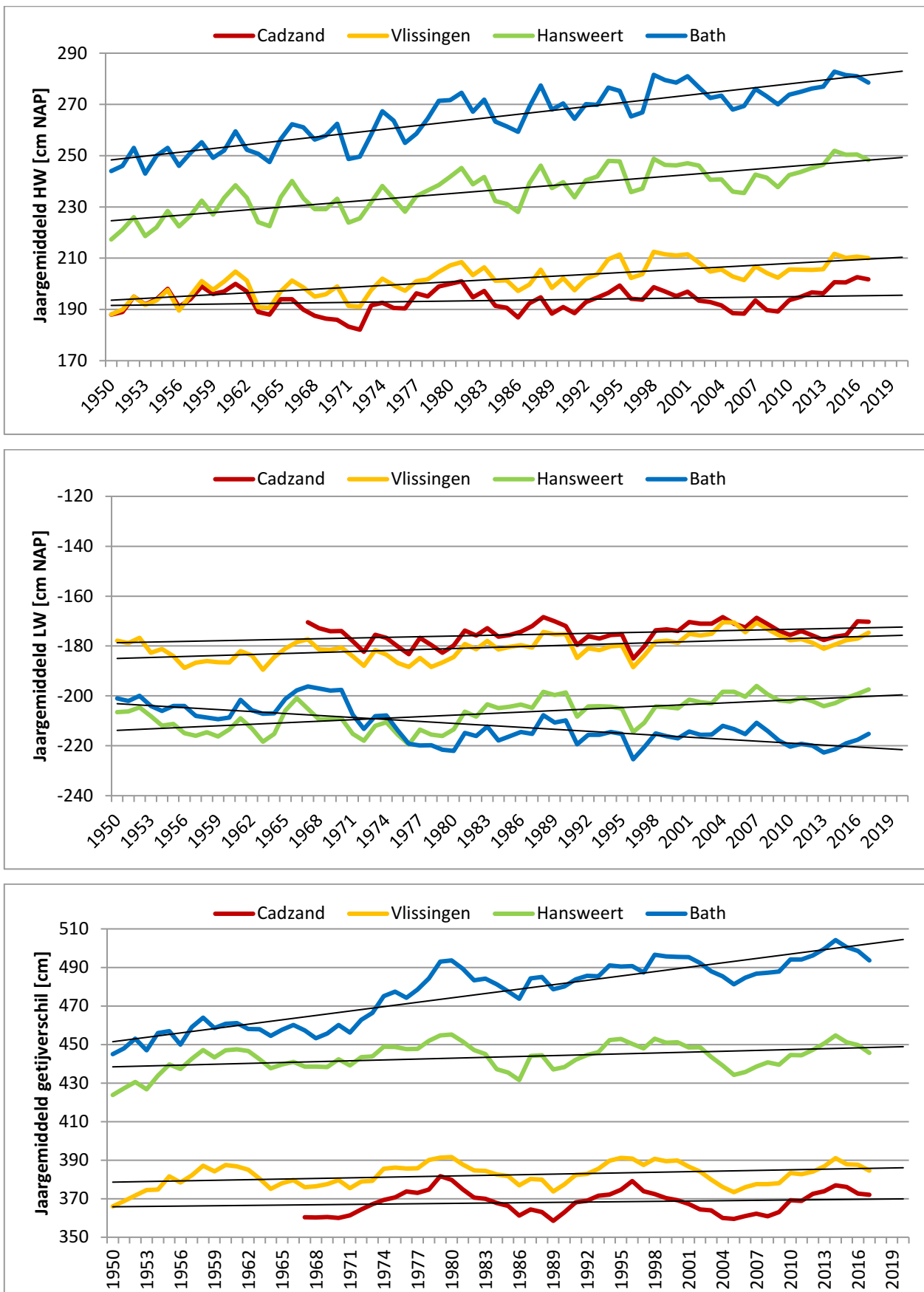
4.2 Debieten en watervolumes

Het debiet wordt op meerdere raaien, lopende vanaf de monding tot de Nederlands-Belgische grens, gemeten. De debietraai die in macrocel 6 ligt is weergegeven in Figuur 2. Debietraai 2 ligt in het midden van macrocel 6, en is verdeeld in twee secties: Schaar van de Noord en Nauw van Bath. Om een indruk te krijgen van het totale volume tijdens vloed en eb (getijprisma) en de verdeling over de verschillende geulen zijn de meetgegevens van de debietraai 2 weergegeven in de volgende paragrafen.

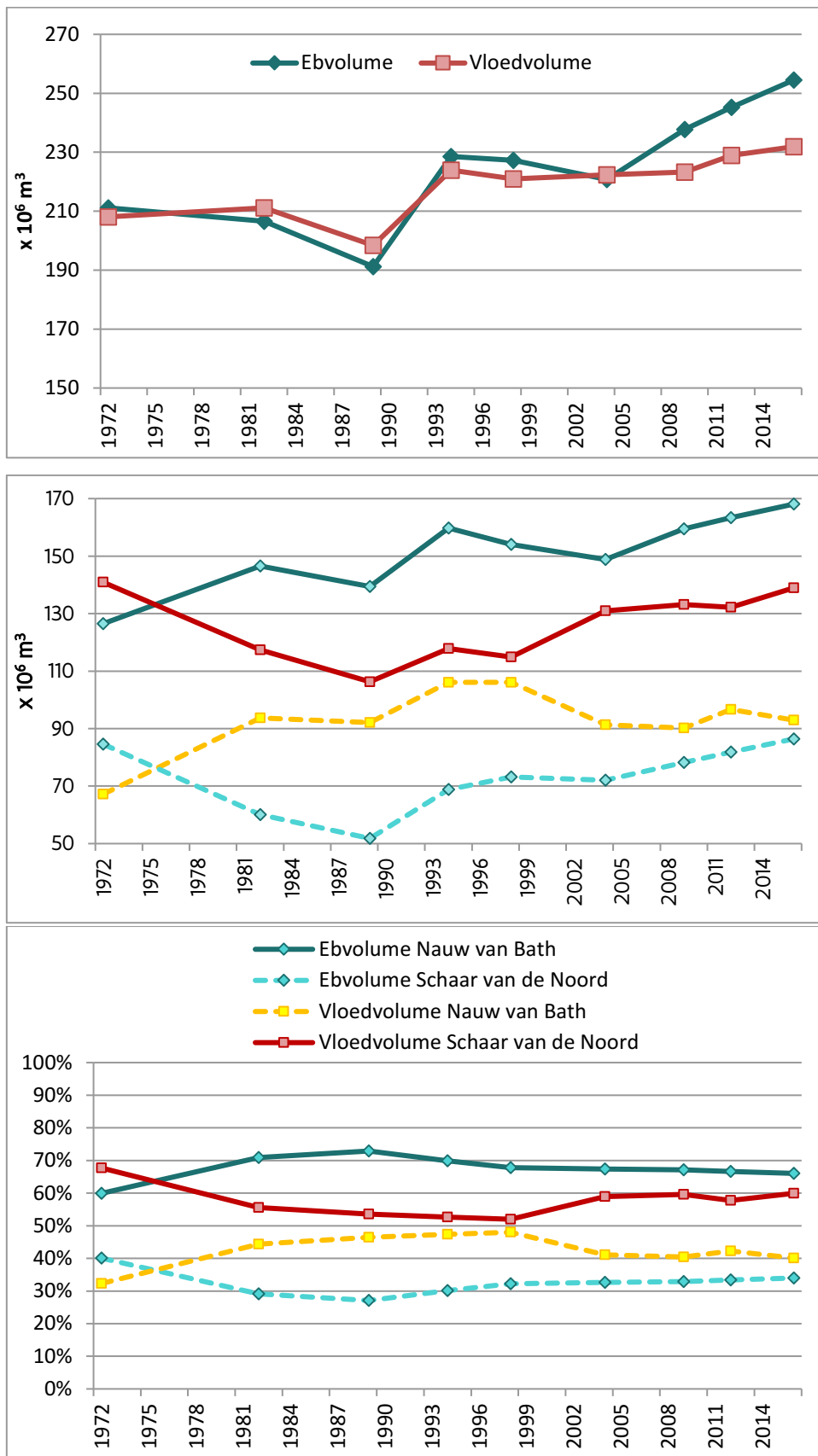
In Figuur 4 (boven en midden) zijn de gemeten getijvolumes op de raai weergegeven. Eind jaren 1980 is er een sterke toename te zien in zowel het eb- als vloedvolume doorheen de raai. Na een stabilisatie in de jaren 1990, volgt er in de jaren 2000 opnieuw een toename. Deze manifesteert zich vooral in het ebvolume, waardoor een verschil ontstaat in de eb- en vloedvolumes doorheen deze raai. Aangezien beide volumes gelijkaardig dienen te zijn (op bovenafvoer na), zal vermoedelijk een deel van het vloeddebiet over de Marlemontsche Plaat stromen en buiten de meetraai passeren.

Uit Figuur 4 (midden en onder) toont de resultaten voor de afzonderlijke delen van de raai. Hieruit is af te lezen dat vanaf 1989 het eb- en vloedvolume in de Schaar van de Noord toeneemt. In het Nauw van Bath is er eveneens de (lichte) toename van het ebvolume, terwijl het vloedvolume eerder stagneert.

Figuur 3 – Gemiddeld hoogwater (boven), laagwater (midden) en getijverschil (onder) voor periode 1950 - 2015



Figuur 4 – Gemeten eb- en vloedvolumes (boven en midden) en relatieve verdeling over de raaien (onder) voor meetraai 2
 Opmerking: middelste en onderste figuur hebben zelfde legende!



4.3 Stromingen

4.3.1 Metingen

Figuur 5 toont de gemeten stroomsnelheden op het moment van maximum eb en vloed op debietraai 2. Tijdens de eb fase is de stroming geconcentreerd in de buitenkant van de bocht (Nauw van Bath), waarbij de maximale snelheden ca. 130 cm/s bedragen. De snelheden in de Schaar de Noord blijven bij eb beperkt tot minder dan 100 cm/s. Tijdens de vloed fase is de stroming geconcentreerd in de vloedgeul (Schaar de Noord), waarbij de maximale snelheden, centraal in de geul, meer dan 150 cm/s bedragen. In het Nauw van Bath doet zich een meer aparte verdeling van de stroming voor: de maximale stroomsnelheden doen zich voor in de onderste waterhelft, centraal in de geul.

4.3.2 Modelling

Methodologie

In het kader van het Overleg Flexibel Storten worden jaarlijks de veranderingen in de stroompatronen nabij de plaatranden in beeld gebracht op basis van numerieke modellen. Voor een uitgebreide beschrijving van de gebruikte numerieke modellen wordt verwezen naar Vos *et al.* (2012) en Vos *et al.* (2016). In het kader van deze studie, werden deze modellen ingezet om de stroombeelden in beeld te brengen. Hierbij wordt gekeken naar de maximale stroomsnelheden bij vloed en eb (afgeleid uit ruimtelijke stromingspatronen met interval van 10 minuten).

Ruimtelijke stroombeelden

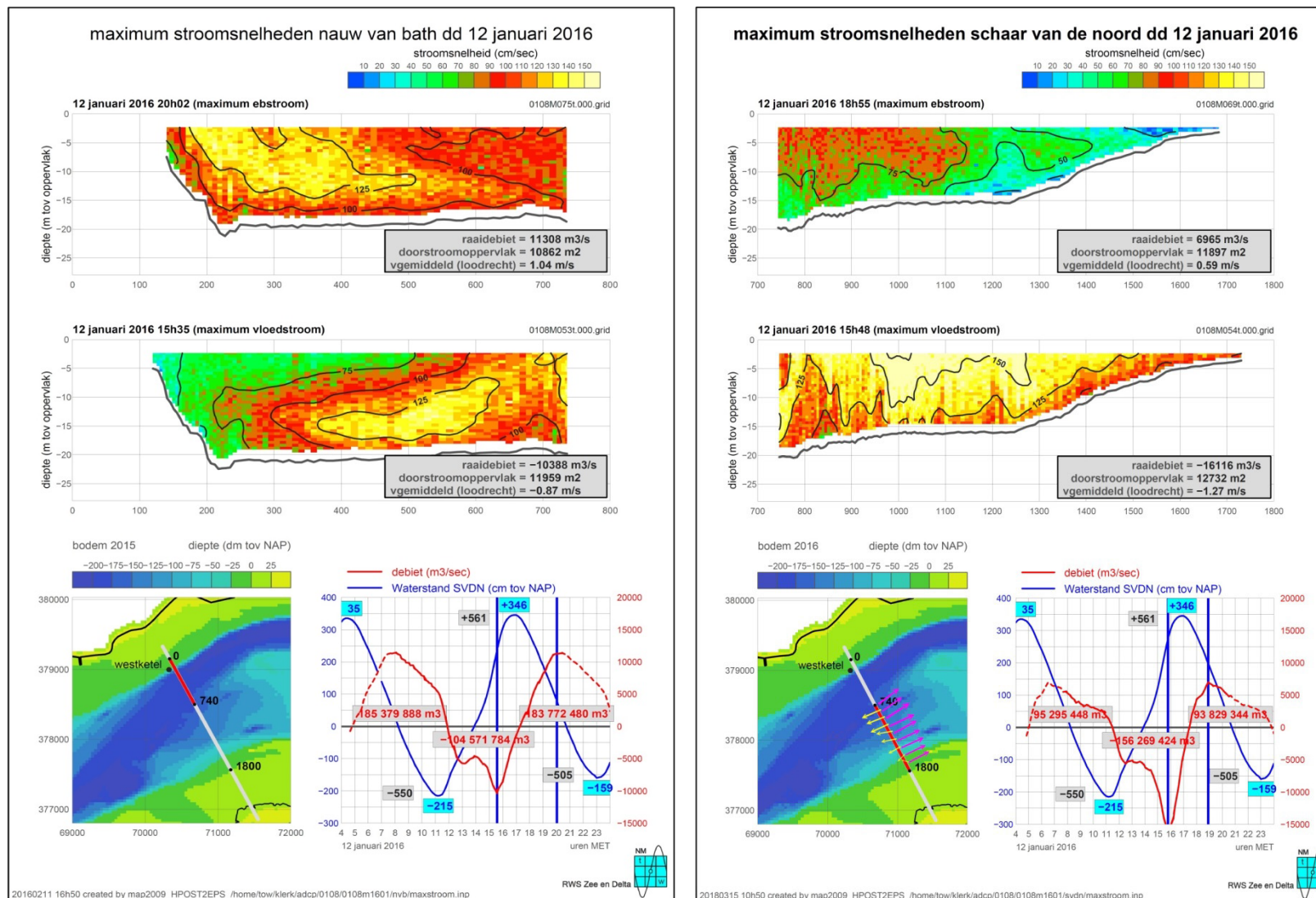
Vloed

Figuur 6 geeft de stroomvectoren weer op het moment van de maximale stroomsnelheden bij vloed. De vloedstroom uit de Overloop van Valkenisse oriënteert zich richting Schaar van de Noord. Langs de zuidelijke kant van het centrale deel van de Schaar van de Noord treden de grootste snelheden op, met waarden groter dan 160 cm/s. De vloedstroming tracht hier een zo kort mogelijke weg af te leggen richting macrocel 7 en de stroming concentreert zich hierbij langs de noordrand van het Verdrongen land van Saefthinghe. In het Nauw van Bath liggen de snelheden beduidend lager (ca. 100 cm/s). Dit beeld komt overeen met de meting ter hoogte van debietraai.

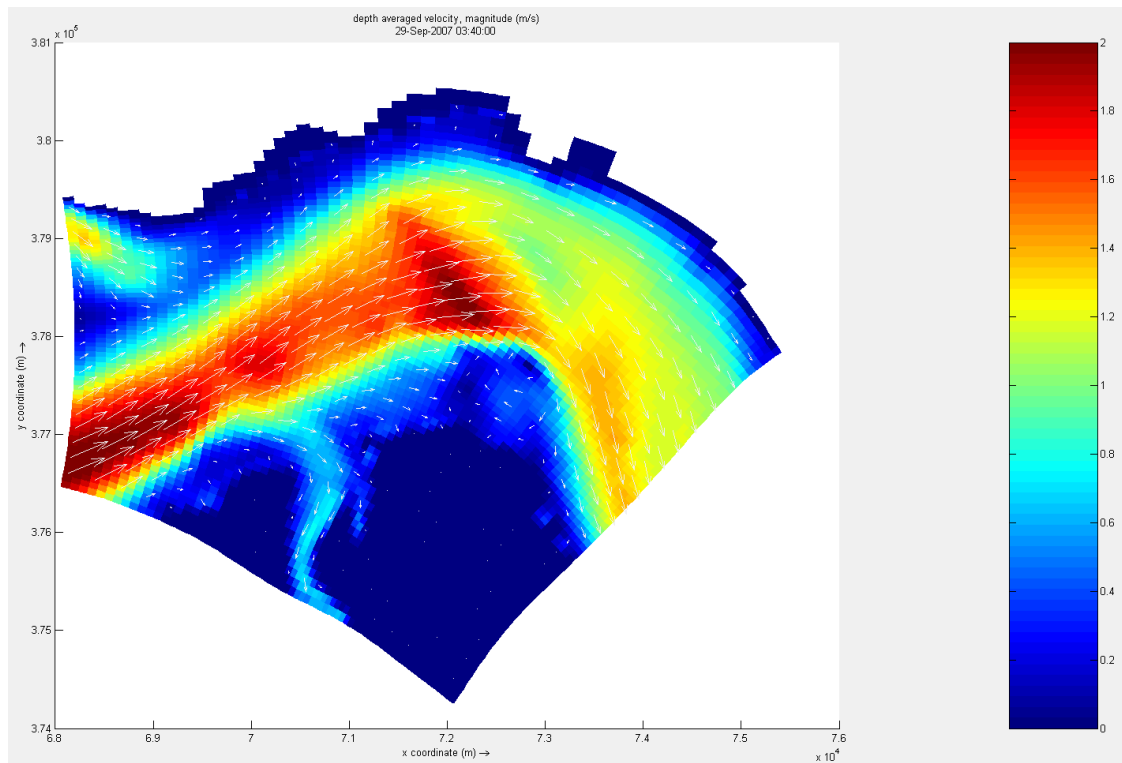
Eb

Figuur 7 geeft de stroomvectoren weer op het moment van maximale ebstroming. Langs de opwaartse zijde van de Schaar van de Noord treden de hoogste snelheden op (tot 150 cm/s). Deze stroming verplaatst zich richting de buitenkant van de bocht aan de afwaartse kant, waar de maximale stroomsnelheden in het Nauw van Bath optreden (tot ca. 120 cm/s). Ook dit komt overeen met de waarnemingen uit de meting op debietraai 2.

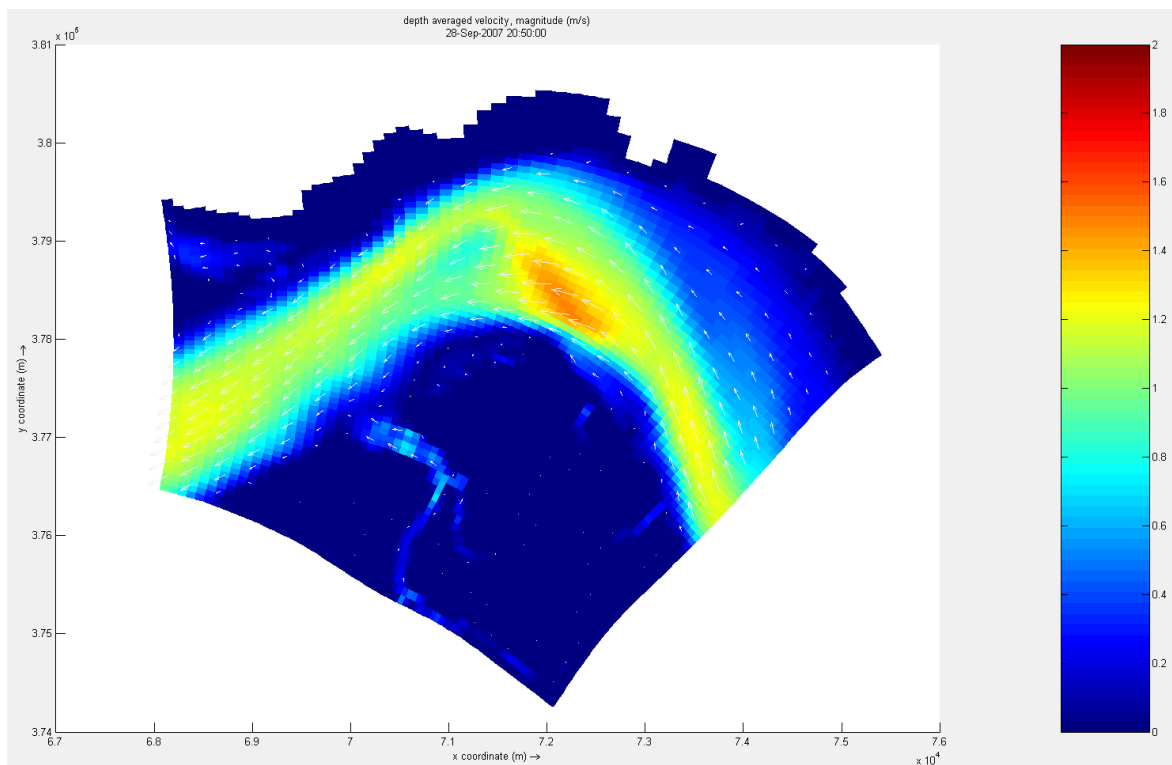
Figuur 5 – Overzicht van de gemeten stroomsnelheden op debietraai 2: Nauw van Bath (links) en Schaar van de Noord (rechts), bij eb (boven) enloed (onder)



Figuur 6 – Overzicht van de stroomsnelheden bij vloed



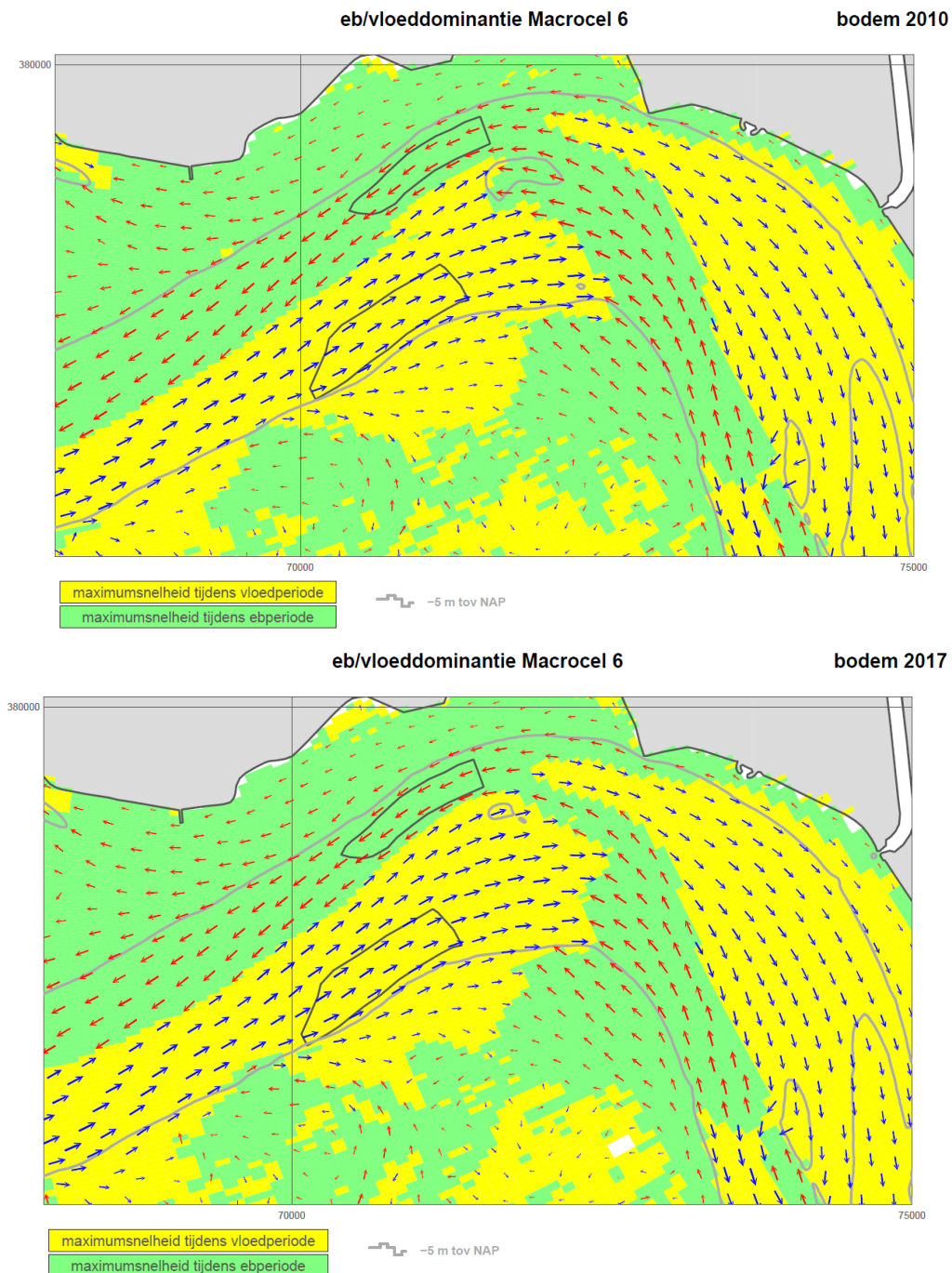
Figuur 7 – Overzicht van de stroomsnelheden bij eb



4.3.3 Eb-vloed dominantie op basis van stroming

Op basis van de maximale stroomsnelheden kan de eb-vloed-dominantie bepaald worden. Figuur 8 geeft de dominantie weer bepaald voor zowel de bodem van 2010 als deze van 2017. De onderlinge verschillen tussen beide momenten blijven beperkt en situeren zich voornamelijk in de nevengeul, waarbij de vloed-dominantie opschuift in oostelijke richting. Daarnaast is er een duidelijk onderscheid waar te nemen tussen de verschillende geulen. De vloedgeul Schaar van de Noord is langs de westelijke zijde vloed-gedomineerd, terwijl de oostelijke zijde eb-dominant is. De ebgeul Nauw van Bath is langs de westelijke zijde eb-gedomineerd, terwijl de oostelijke zijde hier vloed-dominant is.

Figuur 8 – Overzicht van de residuele stroming voor macrocel 5 op basis van bodem 2010 (boven) en 2017 (onder)



5 Sedimenttransport

5.1 Modelling

5.1.1 Methode

Op basis van de berekende stroomsnelheden uit het numerieke model wordt offline het sedimenttransport berekend. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de formulering van Engelund – Hansen (Engelund & Hansen, 1967):

$$q_T = \Phi \cdot \sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d_{50}^3} \text{ in [m}^3\text{/m/s]}$$

Met:

$$\Phi = \frac{0,1 \cdot \theta^{5/2}}{f} [-] \quad \text{en} \quad \theta = \frac{\tau_0}{\gamma \cdot (s-1) \cdot d_{50}} [-] \quad \text{en} \quad f = \frac{2 \cdot g \cdot D \cdot l}{u^2} [-]$$

waarbij:

$$\tau_0 = \rho \cdot u_*^2 \text{ [N/m}^2\text{]} \quad \text{en} \quad u_* = \frac{u}{2,5 \cdot \log\left(\frac{12,27 \cdot D}{1,5 \cdot d_{50}}\right)} \text{ [m/s]}$$

Bovenstaande formules maken gebruik van volgende parameters uit de numerieke modelsimulaties:

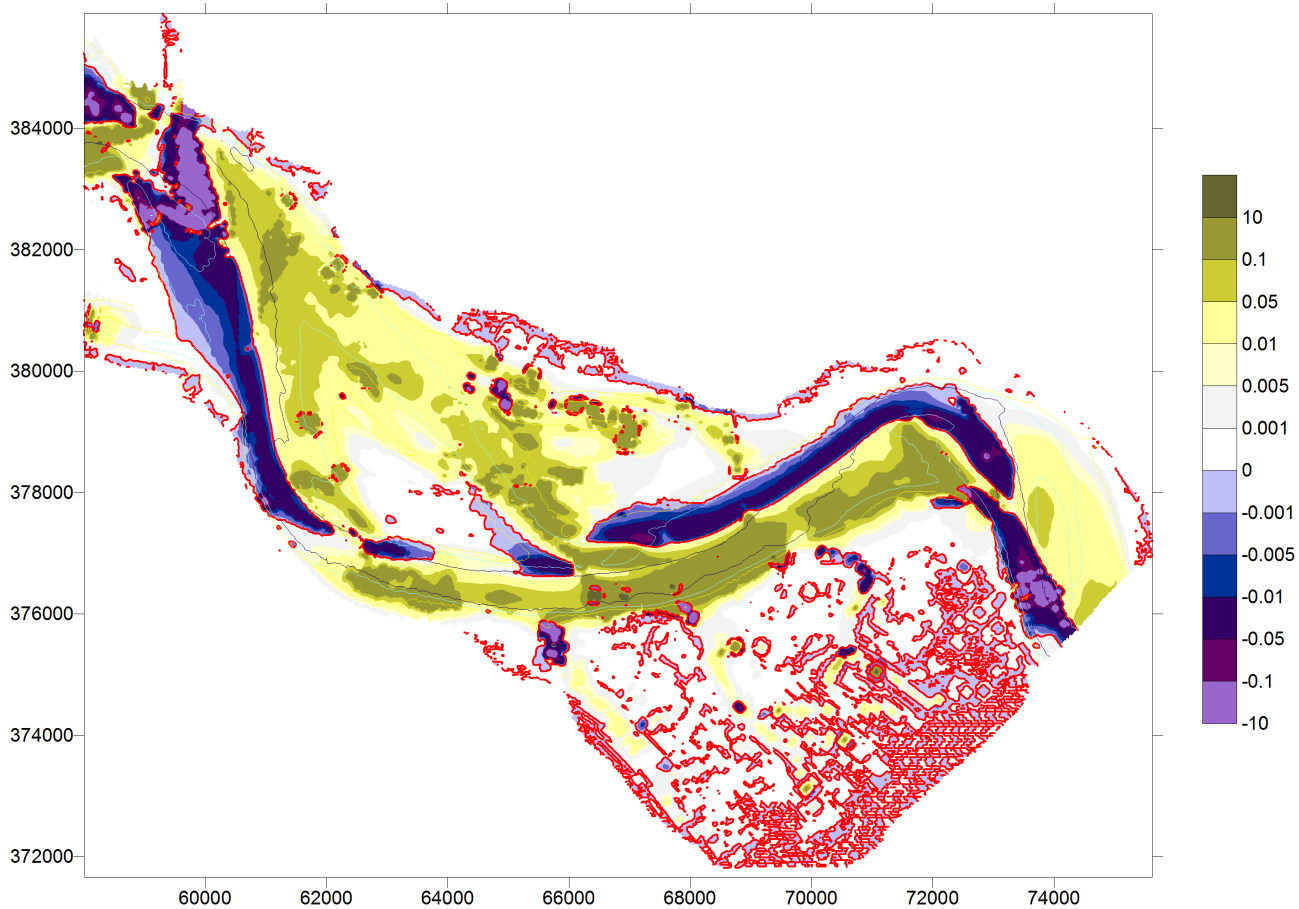
- u : diepte gemiddelde snelheid [m/s]
- D : waterdiepte [m]
- l : verhang [m/m] berekend voor het interessegebied in macrocel 5 als het verhang van het wateroppervlak tussen de posten Hansweert en Bath
- d_{50} : mediane korrelgrootte [m] berekend op basis van de maximale stroomsnelheid om een ruimtelijk variërende waarde te verkrijgen: $d_{50} = 192,1 \cdot v_{\max} - 59,53$ (relatie bepaald op basis van beschikbare gegevens van d_{50} en gemiddelde stroomsnelheden)
- s : relatieve densiteit van het sediment [-] = $\rho_{\text{sediment}} / \rho_{\text{water}}$
- γ : specifieke densiteit [$\text{kg/m}^2/\text{s}^2$] = $\rho_{\text{water}} \cdot g$

5.1.2 Resultaten

Figuur 9 geeft het resultaat weer van de netto-sedimenttransporten in macrocel 6. Er is een duidelijk onderscheid waar te nemen tussen de hoofd- en de nevengeul. De vloedgeul Schaar van de Noord is quasi volledig vloed-gedomineerd, terwijl de ebgeul Nauw van Bath eb-gedomineerd is. Enkel langs de opwaartse kant van de Schaar van de Noord is er langs de zuidelijke kant een kleine zone die eb-dominant is.

Dit beeld komt goed overeen met bovenstaande bevindingen op basis van de maximale stroomsnelheden (§ 4.3.3).

Figuur 9 – Netto sedimenttransport [$\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$] op basis van hydrodynamische simulatie en offline sediment transport
(positief = vloed-gedomineerd | negatief = eb-gedomineerd)



5.2 Afgeleid uit migratie van bodemvormen

5.2.1 Methode

Op basis van de frequente peilingen kan op twee verschillende manieren het sedimenttransport (bodemtransport) afgeleid worden:

- Berekening van het bodemtransport op basis van de migratiesnelheid van de bodemvormen
- Berekening van het bodemtransport op basis van de verplaatste sedimentvolumes van de bodemvormen

5.2.2 Berekening op basis van migratiesnelheid

Bij de berekening van het bodemtransport op basis van de migratiesnelheid van de bodemvormen werd gebruik gemaakt van volgende vergelijking (Hoekstra P. *et al.*, 2004):

$$\bar{q}_b = \alpha \cdot c \cdot H \quad (1)$$

waarbij:

α = bodemtransport coëfficiënt; deze kan beschouwd worden als een kalibratiefactor, gebaseerd op een vergelijking tussen gemeten en berekende transporthoeveelheden. Er zijn in de literatuur verschillende waarden voor α te vinden, maar volgens de meeste auteurs ligt de waarde tussen 0,5 en 0,6. [-]

c = de voortplantingssnelheid van de bodemvorm [m/dag]

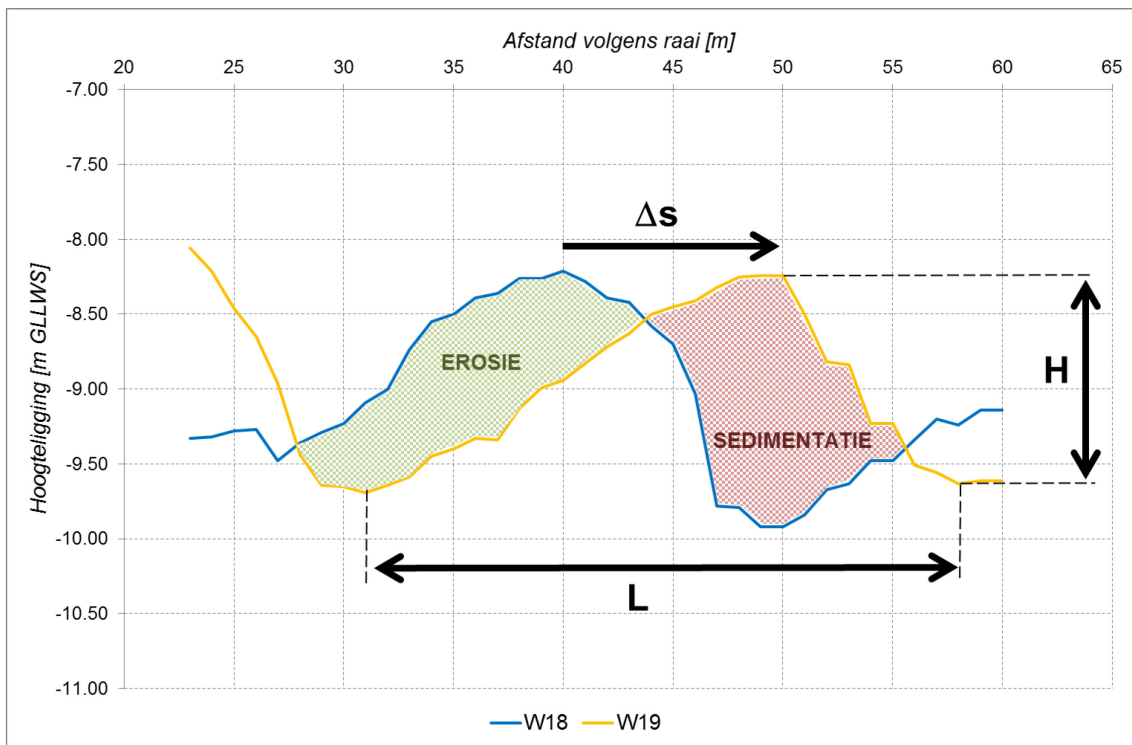
H = de hoogte van de bodemvorm [m]

Binnen het interessegebied worden een aantal profielen gedefinieerd, waarvoor de verschillende bodemvormen op een aantal momenten (i.e. beschikbare peiling) geanalyseerd worden. Hoewel de bodemvormen in opeenvolgende peilingen niet automatisch herkend kunnen worden, is er voor gekozen om op basis van de dominantie te zoeken hoeveel de top is opgeschoven in de dominante richting. Hierbij wordt een extra "vormcriterium" opgelegd, waarbij de oppervlakte van de bodemvorm (als driehoekig verondersteld, oppervlakte = $0,5 \times L \times H$) tussen twee opeenvolgende peilingen niet meer dan 50% mag afwijken. Voor de weerhouden bodemvorm worden de karakteristieken (hoogte, lengte, locatie top, dal) berekend via een Matlab-routine (Y Plancke *et al.*, 2009) en wordt de voortplantingssnelheid berekend als (Figuur 10):

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\text{verschil in positie top bodemvorm}}{\text{tijd tussen 2 peilingen}} \quad (2)$$

De berekende bodemtransporten per bodemvorm worden vervolgens samengevat per profiel (door middel van verschillende (o.a. 10, 50 en 90%) percentielen). Dit resulteert o.a. in een mediane (P50) waarde voor het bodemtransporten langs het profiel op basis van de voortplanting van de bodemvormen.

Figuur 10 – Overzicht parameters gebruikt voor het berekenen van het bodemtransport



5.2.3 Berekening op basis van verplaatste sediment volumes

Naast de migratiesnelheid, kan ook het bodemtransport afgeleid worden uit de verplaatste sedimentvolumes van de bodemvormen (Berben *et al.*, 1978). Tussen 2 opeenvolgende peilingen zal de bodemvorm zich verplaatsen, waarbij er aan de loefzijde een hoeveelheid sediment geërodeerd wordt, terwijl er zich aan de leizijde een hoeveelheid sediment afzet. Dit is weergegeven in Figuur 10. Het geërodeerde volume (groen) en het afgezette volume (rood) zijn een maat voor het bodemtransport.

Langsheen het profiel wordt het hoogteverschil tussen 2 peilingen bepaald (verschil tussen hoogtemeting uit MBES). Vervolgens worden de snijpunten met de 0-waarde bepaald, en worden hiertussen de geërodeerde en afgezet sedimentvolumes per eenheidsbreedte bepaald. Vervolgens kan hieruit het bodemtransport berekend worden:

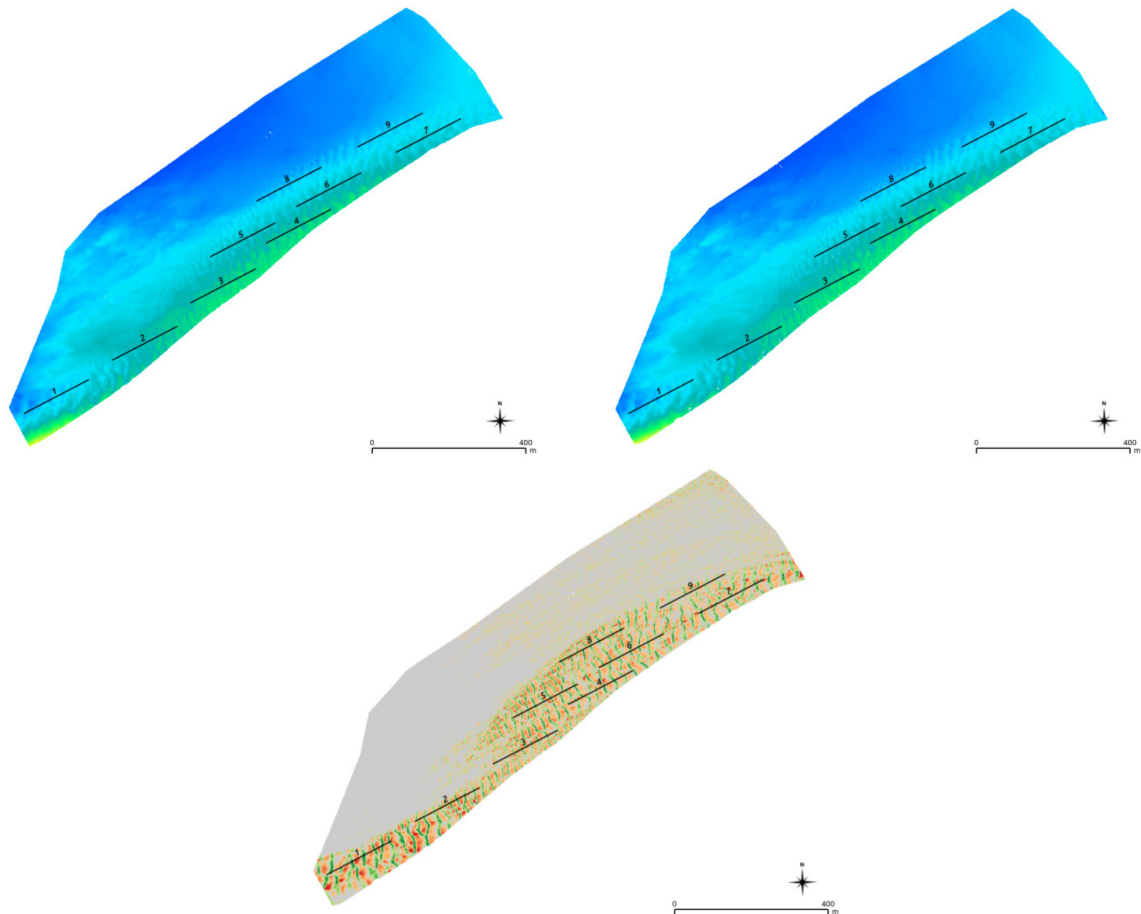
$$q_b = \frac{\langle \Delta V \rangle}{\Delta t} = \frac{\text{gemiddelde volume sediment dat geërodeerd of afgezet is}}{\text{tijd tussen 2 peilingen}} \quad (3)$$

De berekende bodemtransporten (enerzijds afzonderlijk geërodeerd (positief, omwille van conventie dat diepte positief is) en afgezet (negatief) volumes per eenheidsbreedte, als het gemiddelde van de absolute waarde beide) worden vervolgens samengevat per profiel (door middel van verschillende (o.a. 10, 50 en 90%) percentielen). Dit resulteert o.a. in een mediane (P50) waarde voor het bodemtransporten langs het profiel op basis van de verplaatste sedimentvolumes.

5.2.4 Resultaten

Door de Vlaamse hydrografie werden op 28 november en 12 december 2017 2 multibeam echo-sounding (MBES) peilingen uitgevoerd van het stortvak SN61 in de Schaar van de Noord (zie Figuur 2 voor ligging stortvak). Figuur 11 toont de bathymetrie van beide opnames, alsook een verschilkaart tussen beide opnames.

Figuur 11 – Overzicht MBES peilingen (boven, links 28/11/2017 en rechts 12/12/2017) en verschilkaart (onder), incl. ligging raaien

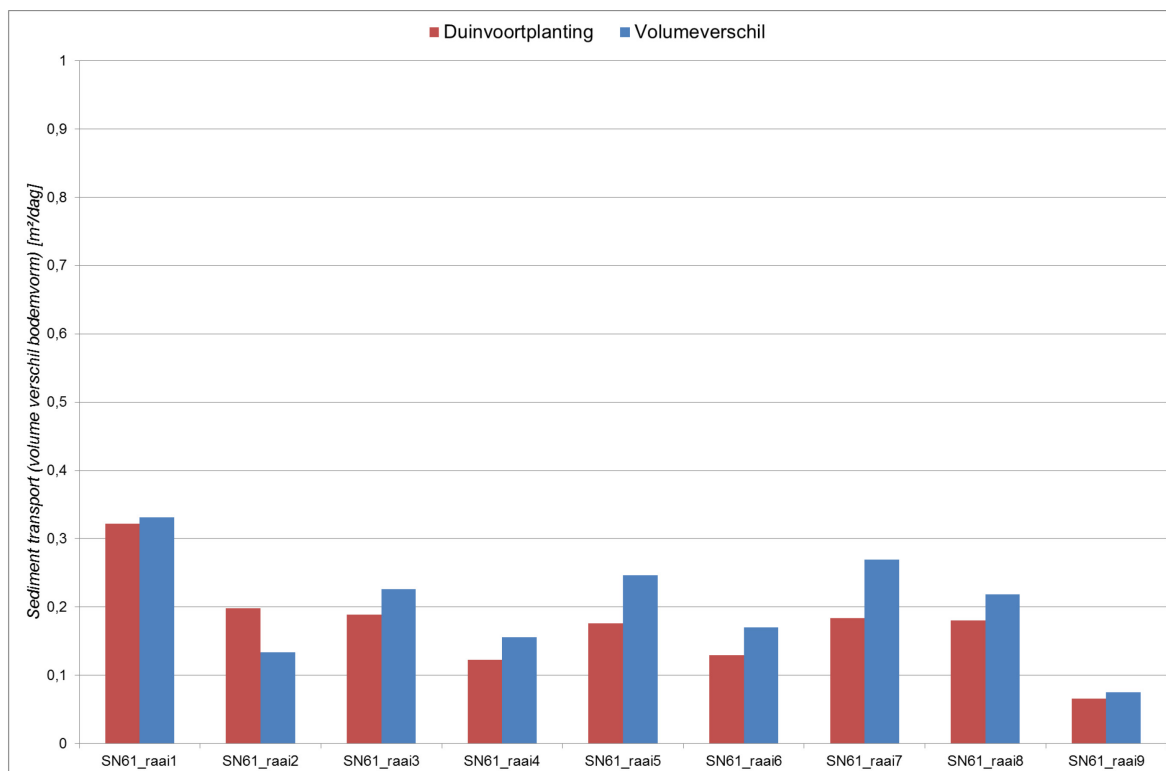


Om het sedimenttransport te kunnen afleiden uit de migratie van de bodemvormen, werden 9 raaien gedefinieerd. Deze raaien werden zo gekozen dat er bodemvormen konden worden vastgesteld. Met name in de diepere delen van het stortvak bleek de bodem eerder vlak, wat bovenbeschreven analyse hier onmogelijk maakte. Voor elke raai vond een analyse waarbij zowel op basis van de migratiesnelheid als op basis van het volumeverschil, het sedimenttransport afgeleid werd.

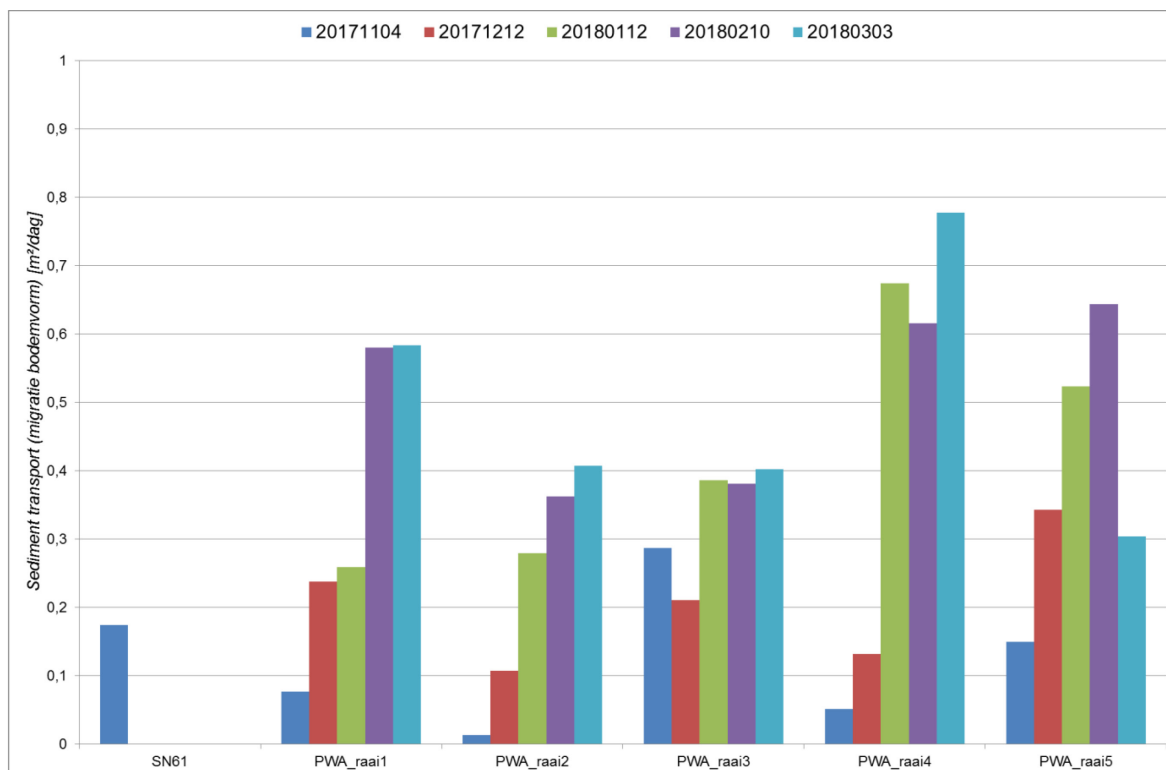
Figuur 12 toont de afgeleide sedimenttransport volgens beide methodes. Het verschil tussen beide methodes blijft eerder beperkt. Het grootste transport (ca. $0,3 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$) wordt vastgesteld op raai 1, gelegen in het meest afwaarts deel van de zone. Op raai 9, gelegen in het meer opwaartse deel, zijn de transport een factor 4 lager ($0,075 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$). De overige raaien variëren tussen de $0,1$ en $0,2 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$.

Ter vergelijking met andere locaties waar een gelijkaardige analyse is uitgevoerd (Figuur 13), zijn de alhier berekende transporten eerder laag. Ter hoogte van de Plaat van Walsoorden werden transporten berekend die variëren tussen $0,3$ en $0,8 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$, terwijl langs de Platen van Ossenis (Yves Plancke *et al.*, 2018) transporten werden afgeleid variërende tussen $0,1$ en $0,9 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$.

Figuur 12 – Overzicht afgeleide sedimenttransporten ter hoogte van SN61



Figuur 13 – Overzicht afgeleide sedimenttransporten ter hoogte van de Plaat van Walsoorden



6 Morfologie

6.1 Morfologische ontwikkeling op de lange termijn

6.1.1 Algemeen

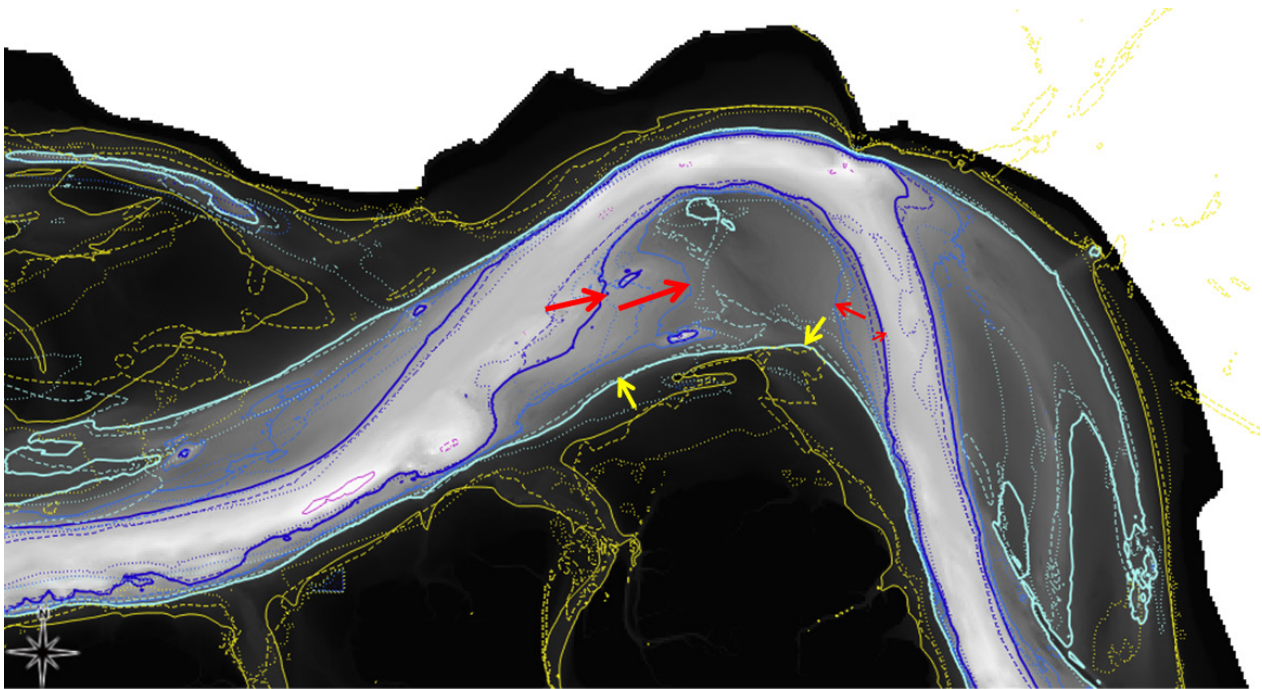
Bijlage A – Topo-bathymetrie macrocel 6 toont de volledige bodemligging van macrocel 6 voor 1980, 1990, 2000, 2010 en 2016. Op deze figuren worden telkens ook de contourlijnen getoond met 5m interval. Figuur 14 toont de verschillende contouren voor de jaren 1980, 2000 en 2016.

Binnen deze macrocel zijn de geulen redelijk stabiel. De hoofdgeul (Nauw van Bath) ligt vast tegen de oever waar hij verhinderd wordt in laterale migratie door de aanwezige oeverbescherming. De nevengeul (Schaar van de Noord) kent wel enige dynamiek over de laatste 25 jaar. Ter hoogte van de afwaartse aansluiting met de hoofdgeul is de nevengeul verdiept over de afgelopen 25 jaar. Dit manifesteert zich in het oostwaarts opschuiven van de verschillende contourlijnen (-15 mNAP en -10 mNAP) (Figuur 14, rode pijlen). Daar waar er in 1980 nog een grote ondiepe zone (boven -5 mNAP) aanwezig was in de nevengeul, is deze volledig verdwenen. Langs de opwaartse aansluiting met de hoofdgeul (Pas van Rilland) is de geul eerder stabiel, met een zeer beperkte verschuiving naar het oosten van de -15 mNAP contourlijn en een beperkte verschuiving naar het westen van de -10 mNAP contourlijn (Figuur 14, rode pijlen). Deze laatste ontwikkeling hangt samen met het verdiepen van de nevengeul als geheel.

De Plaat van Saeftinghe bestond in 1980 nog uit een deel intergetijdengebied, gelegen in het noordoostelijke deel van de scheiding tussen hoofd- en nevengeul. In de hierop volgende decennia verlaagde de plaat tot een ondiepwater plateau, dat tevens in westelijke richting migreerde. In 2016 was het oppervlak sterk gereduceerd en is er alleen sprake van een in oppervlakte beperkte ondiepwater plateau langs de noordwestelijke kant van de macrocel.

De Marlemontsche Plaat (i.e. noordrand van het Verdronken land van Saeftinghe - Figuur 14, gele pijlen) heeft zich in het westelijke deel van macrocel (afwaartse deel nevengeul) tussen 1980 en 2000 aanzienlijk uitgebreid in noordelijke richting (met name zichtbaar in -5 mNAP contour). Nadien blijft ze eerder stabiel. In het centrale deel van macrocel is de rand van de plaat eerder stabiel. In het oostelijke deel (opwaartse deel nevengeul) is de rand van de plaat (met name zichtbaar in -5 mNAP contour) tussen 1980 en 2016 teruggedrongen in zuidelijke richting.

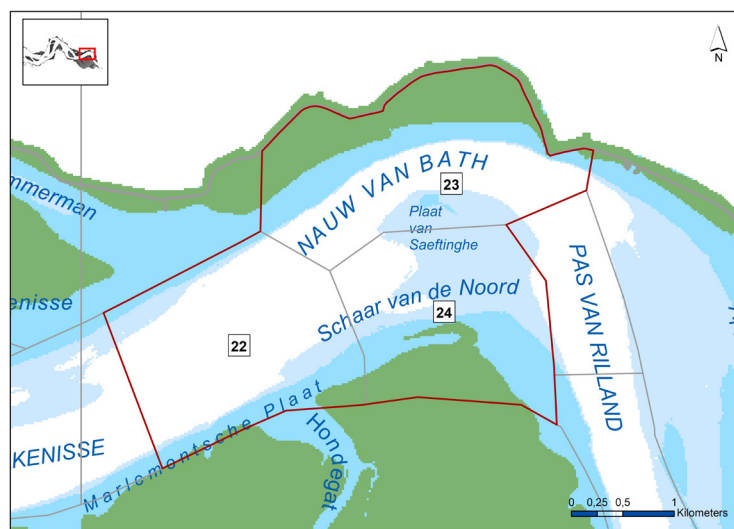
Figuur 14 – Dieptecontouren (0, -5, -10, -15 en -25 mNAP) voor MC6: 1980 (stippenlijn), 2000 (streepjeslijn) en 2016 (volle lijn)
Rode pijlen = ontwikkelingen geulen | Gele pijlen = ontwikkelingen platen



6.2 Watervolumes geulen

De berekende watervolumes uit de zandbalans van Rijkswaterstaat kunnen worden getotaliseerd tot volumes per eb- en vloedgeul per macrocel. In de zandbalans zijn de watervolumes en oppervlaktes bepaald ten opzichte van de referenties van -500 cm NAP en -200 cm NAP. In de volgende paragrafen zijn deze gegevens grafisch weergegeven voor macrocel 6. Figuur 15 geeft de exacte polygonen weer van de verschillende geulen.

Figuur 15 – Afbakening geulen macrocel 5



6.2.1 Hoofdgeul

De hoofdgeul (ebgeul) in macrocel 6 bestaat uit de rekenvakken 22 en 23. In Figuur 16 is te zien dat het wateroppervlak en -volume sinds 1955 voor beide referentievlakken toeneemt. De toename is sterker van het areaal beneden -500 cm NAP dan voor het areaal beneden -200 cm NAP, waardoor het areaal ondiepwater (tussen -200 en -500 cm NAP), met name tussen 1970 en 2000, aanzienlijk is afgenomen.

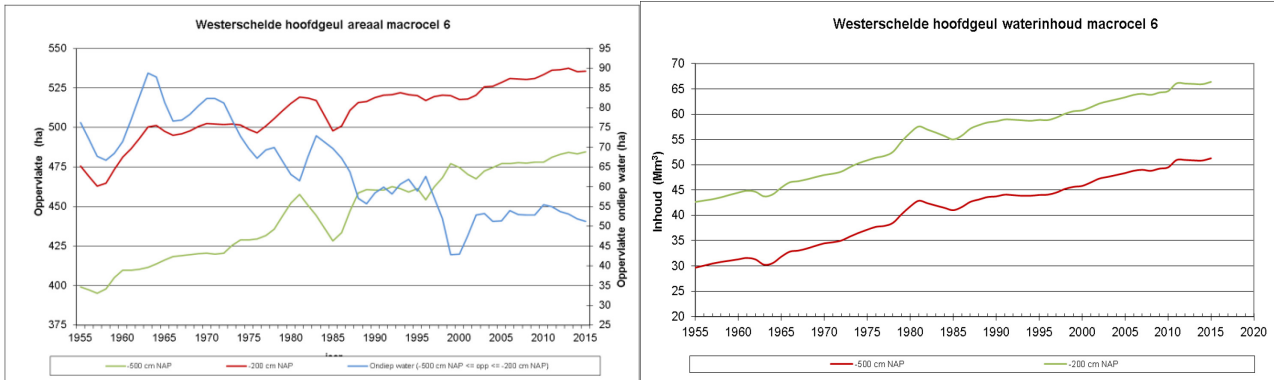
De effecten van de verruimingen in de vorige eeuw zijn in de arealen van het gebied dieper dan -500 cm NAP terug te zien (telkens toename van het areaal). Opmerkelijk is dat de toename in areaal in deze periodes (midden jaren 1970 en eind jaren 1990) telkens gevolgd wordt door een afname in het areaal, waardoor weinig afgeweken wordt van de lange termijn trend.

6.2.2 Nevengeul

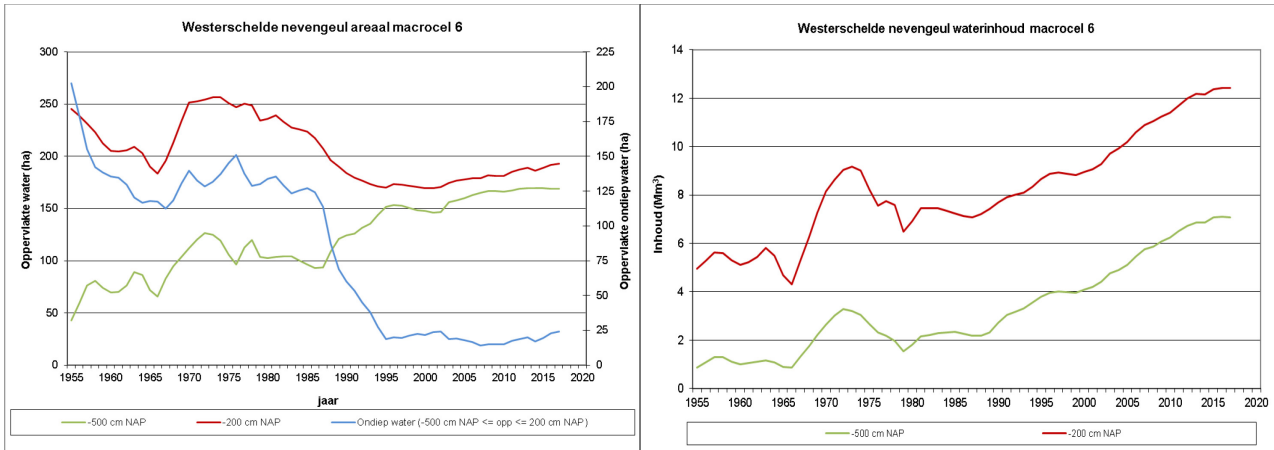
De nevengeul (vloedgeul) in macrocel 6 bestaat uit de rekenvak 24. In Figuur 17 is te zien dat het watervolume voor de beide referentievlakken is toegenomen sinds ca. 1980. Het areaal op -500 cm NAP is ook sinds 1985 aan het toenemen. Het areaal op -200 cm NAP neemt af tussen 1970 en 1995, waarna het licht toeneemt. Ook hier zijn de verandering ten koste gegaan van het areaal tussen -500 cm NAP en -200 cm NAP. Hiervan is tussen 1985 en 1995 ca. 100 ha verloren gegaan. Dit is goed zichtbaar op Figuur 18 waar het oppervlak aan ondiepwatergebied wordt getoond voor de jaren 1982 en 1996.

Sinds 1995 zorgt de toename in het watervolume in combinatie met een stabiel/licht toenemend areaal ervoor dat de gemiddelde diepte van de vloedgeul aan het toenemen is.

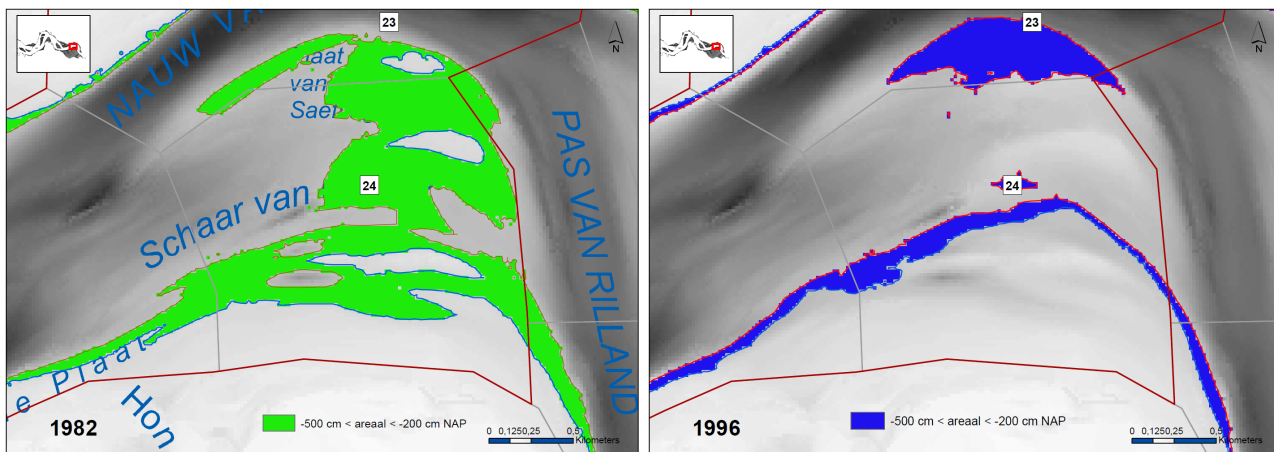
Figuur 16 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de hoofdgeul van macrocel 6



Figuur 17 – Ontwikkeling van geul-oppervlakte (links) en geul-volume (rechts) in de nevengeul van macrocel 6



Figuur 18 – Ontwikkeling van oppervlakte ondiepwatergebied: 1982 (links) en 1996 (rechts) in de nevengeul van macrocel 6



7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Voorstel stortstrategie

In macrocel 6 zijn 2 stortzones gelegen. Ondanks de beperkte vergunde stortcapaciteit, zijn deze zones van groot belang aangezien ze gelegen zijn in de onmiddellijke omgeving van de belangrijkste baggerzones in de Westerschelde. Door deze stortzones optimaal te gebruiken wordt niet enkel de vaarafstand beperkt, maar wordt de sedimenthuishouding in de Westerschelde minimaal verstoord. In de afgelopen jaren is één van deze stortzones uit voorzorg niet gebruikt geweest (SN61), maar door het niet gebruiken van andere vergunde stortzones, rijst de vraag of deze stortzone alsnog gebruikt zou kunnen worden.

7.1.1 Hoofdgeul SH61

De stortlocatie SH61 is in de periode 2014-2016 niet op volledige capaciteit benut geweest omwille de stabiliteit van de gestorte specie die een risico vormde voor de toegankelijkheid. Gelet op de oostelijke ligging van dit stortvak, dichtbij een aantal belangrijke drempels, verdient het de aanbeveling de **stortingen** op deze locatie **te laten doorgaan**, rekening houdend met potentiële risico's met betrekking tot de stabiliteit van de gestorte specie.

7.1.2 Nevengeul SN61

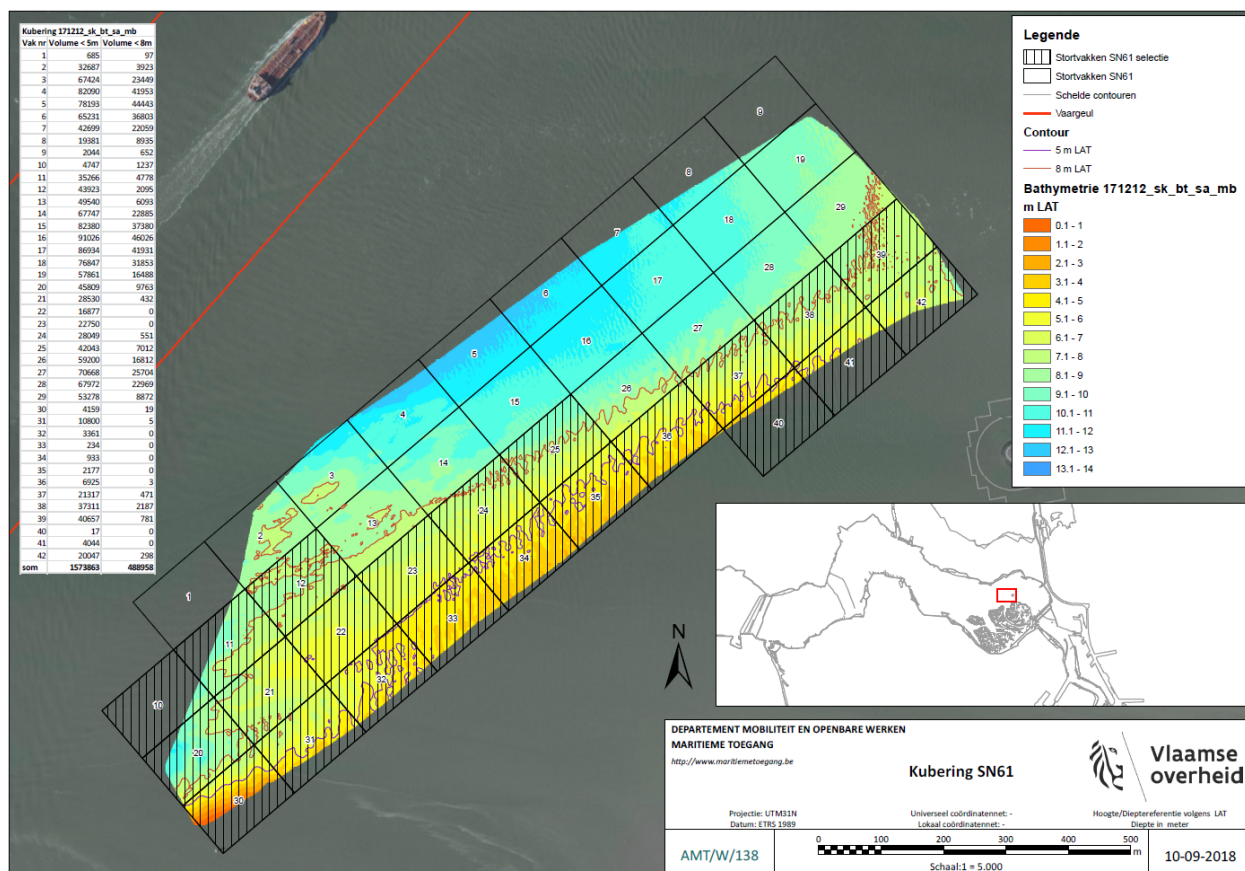
Gelet op de geografische afbakening van het stortvak SN61 en het tot op heden ontbreken van de noodzaak tot het gebruiken van het stortvak, werd dit tot op heden gemeden. Momenteel stelt zich de vraag om het stortvak te benutten. In de laatste 20 jaar is de gemiddelde diepte van de nevengeul toegenomen, waarbij een deel van het vergunde stortvak gemakkelijk toegankelijk is gekomen voor de baggerschepen. Echter, omwille van het feit dat binnenvaart en zeevaart vlot en veilig op de Schelde kunnen varen, is er in 2009 een scheiding gekomen van de vaarroute van de schepen. Om ter hoogte van de Schaar van de Noord een diepte van -2 m LAT te kunnen garanderen, is er nood aan de baggeractie om deze diepte te kunnen garanderen².

Op basis van de uitgevoerde analyse, mag verwacht worden dat specie gestort in het stortvak SN61 voornamelijk verplaatst zal worden onder invloed van vloed-dominant transport. Dit betekent dat het sediment in de richting van de Schaar van de Noord zal worden getransporteerd, waardoor de bevaarbaarheid in de nevengeul mogelijks negatief beïnvloed wordt.

Gelet op bovenstaande argumenten (pro: stortzone in de onmiddellijke omgeving van baggerzone ⇔ contra: risico reductie waterdiepte nevenvaarwater), wordt voorgesteld een **beperkte stortproef** uit te voeren van 0,25 Mm³, dewelke door middel van multibeam echo sounding **peilingen** wordt **opgevolgd** (minimaal maandelijks frequentie). Voorgesteld wordt om deze stortproef uit te voeren in het **meest zuidelijke deel** van het stortvak (zie gearceerde vakken op Figuur 19, kubering op MBES d.d. 12/12/2017 geeft 0,03 Mm³ onder -8 m LAT en 0,42 Mm³ onder -5 m LAT waarbij voor vak 10 geen MBES-data beschikbaar was) om de aanvoer richting nevenvaarwater te minimaliseren. Indien de geuldiepte van het nevenvaarwater niet negatief wordt beïnvloed, kan het stortvak in de volgende jaren intensiever gebruikt worden.

² https://vnsc.eu/publicaties/scheldetopics/scheldetopics-april-2018/?article_id=41

Figuur 19 – Voorstel stortvakken (arcering) binnen stortzone SN61



7.2 Aanbevelingen

Indien het voorstel voor het uitvoeren van een stortproef in het zuidelijke deel van het stortvak gevolgd wordt, verdient het de aanbeveling voorafgaandelijk een nieuwe MBES-peiling uit te voeren om de capaciteit van de vakken te kunnen bepalen op de meest recent morfologische toestand.

Uit de analyse van de eb- en vloedvolumes ter hoogte van debietraai 2 blijkt een discrepantie tussen beide volumes die niet kan toegeschreven worden aan de rol van de bovenafvoer. Mogelijks gaat een deel van de vloedstroming over de Marlemontsche Plaat en valt dit buiten het meetbereik van de debietraai. Een aanvullende meting met behulp van extra toestellen (bv. Nortek AquaDopp toestellen die ook elders in de Westerschelde ingezet worden) in de zone kan hierover uitsluitsel brengen.

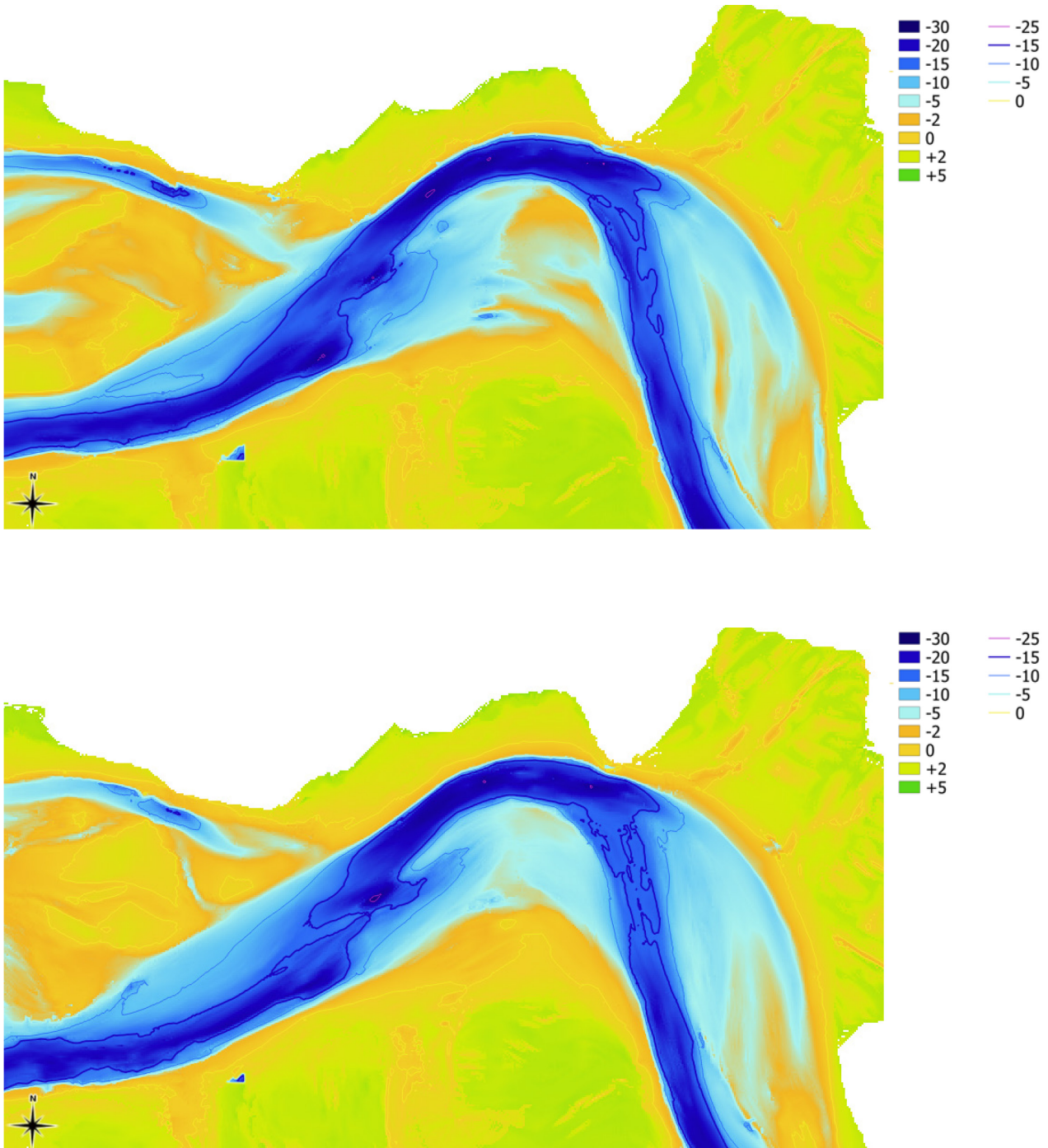
Op basis van de uitgevoerde analyse blijkt dat het sedimenttransport, dat aan de basis ligt van de morfologische veranderingen, slechts beperkt gekend is. Hiervoor wordt de aanbeveling gemaakt om enerzijds aanvullende metingen (stroming én sedimenttransport) uit te voeren op verschillende locaties op verschillende momenten in de tijd. Deze gegevens kunnen gebruikt worden om de numerieke modellen uitgebreid te valideren. Dit moet leiden tot een modelinstrumentarium dat met meer vertrouwen kan ingezet worden in het doorrekenen van verschillende scenario's, zowel naar optimalisatie van het gebruik van de huidige stortzones als potentiële nieuwe stortlocaties.

8 Referenties

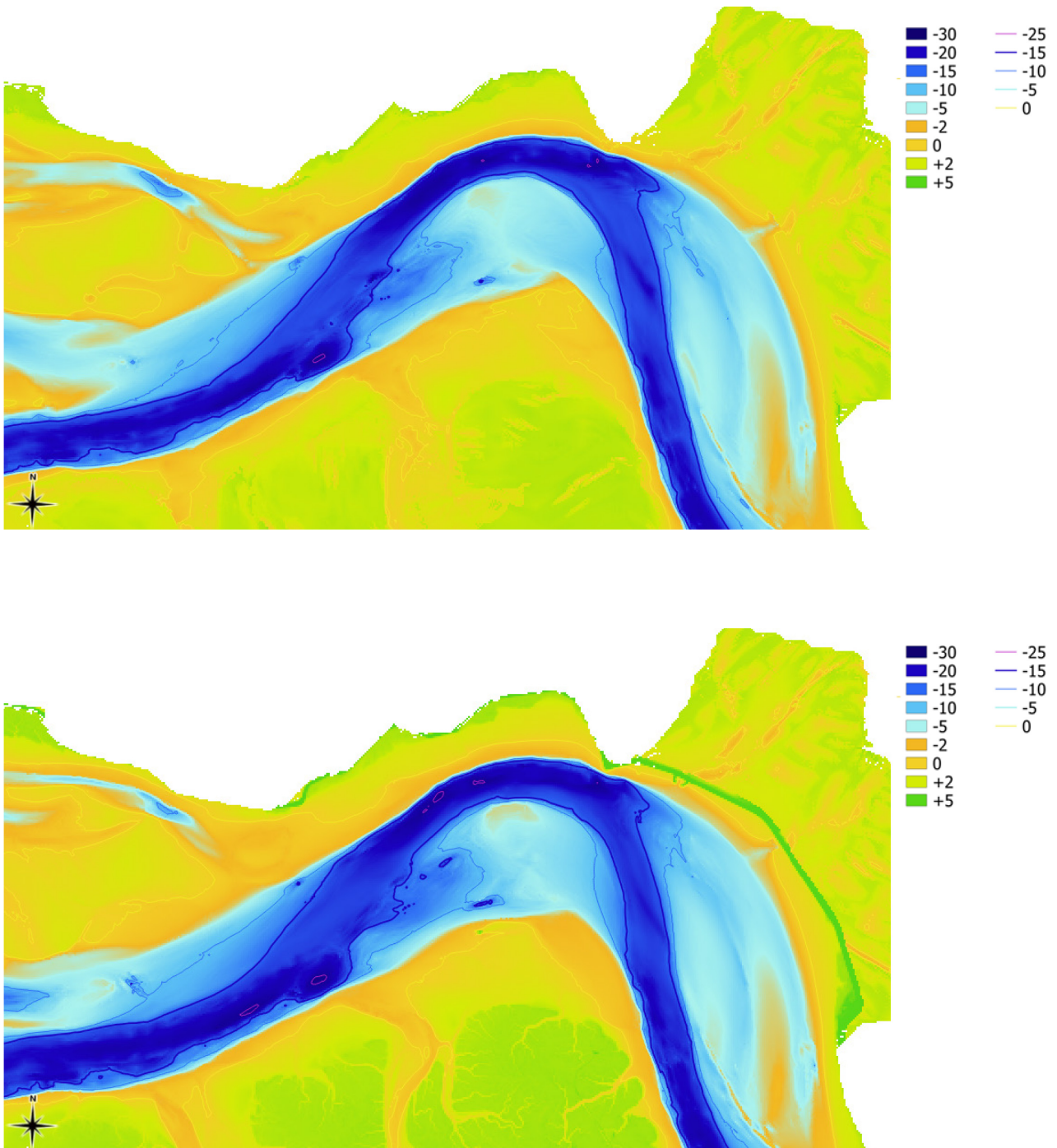
- Berben, F.; Brouwer, M.; Kohsiek, L.; Lemkes, J.; Steyaert, F.** (1978). Ribbelvormen, waterbeweging en hun onderlinge samenhang in een getijdengebied (Plaat van Ossensisse, Westerschelde)
- Engelund, F.; Hansen, E.** (1967). A monograph on sediment transport in alluvial streams: Copenhagen, Denmark. Available at: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:81101b08-04b5-4082-9121-861949c336c9?collection=research>
- Hoekstra P.; Bell, P.; van Santen, P.; Roode, N.; Levoy, F.; Whitehouse, R.** (2004). Bedform migration and bedload transport on an intertidal shoal. *Cont. Shelf Res.* 24: 1249–1269
- Plancke, Y.; Schrijver, M.; Meire, D.; Mostaert, F.** (2017). Overleg Flexibel Storten: deelrapport 20. Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie nabij de Hooge Platen. versie 1.0. *RPRT. WL Rapporten, 00_031_20*. Rijkswaterstaat, Zee en Delta: Antwerpen; Middelburg. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=292109>
- Plancke, Y.; Meire, D.; Mostaert, F.** (2018). Agenda voor de Toekomst Morfologie Mesoschaal: Deelrapport 14 – Bodemtransport nabij de Platen van Ossensisse op basis van een analyse van bodemvormen
- Plancke, Y.; Schrijver, M.; Meire, D.; Mostaert, F.** (2017). Overleg Flexibel Storten: deelrapport 22. Analyse van de waterbeweging, het sedimenttransport en de morfologie nabij de Plaat van Walsoorden. Versie 3.0. *RPRT. WL Rapporten, 00_031_22*. Rijkswaterstaat, Zee en Delta: Antwerpen; Middelburg. Available at: <http://documentatiecentrum.watlab.be/owa/imis.php?module=ref&refid=292110>
- Plancke, Y.; Vos, G.; De Mulder, T.; Mostaert, F.** (2009). Habitatmapping Westerschelde: deelrapport 1. Classificatie op basis van bodemvormen en hydrodynamica. *RPRT. WL Rapporten, 754_06*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Rijkswaterstaat Zeeland; Departement Mobiliteit en Openbare Werken, afdeling M.; Toegang.** (2008). Protocol voorwaarden voor flexibel storten – Kwaliteitsparameters
- Schrijver, M.; Plancke, Y.** (2008). Uitvoeringsplan MONEOS-T 2008 - 2018. *RPRT*. Rijkswaterstaat Zeeland/Vlaamse Overheid. Departement voor Mobiliteit en Openbare Werken: Middelburg
- Vos, G.; Plancke, Y.; Mostaert, F.** (2012). Overleg flexibel storten: methodologie opvolging plaatrandstortingen. *RPRT. WL Rapporten, 00_031*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen
- Vos, G.; Plancke, Y.; Vanlede, J.; Verwaest, T.; Mostaert, F.** (2016). Overleg flexibel storten: opvolgingsrapport 12. Periode juli 2014 - januari 2015. *WL Rapporten, 00_031*. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Bijlage A – Topo-bathymetrie macrocel 6

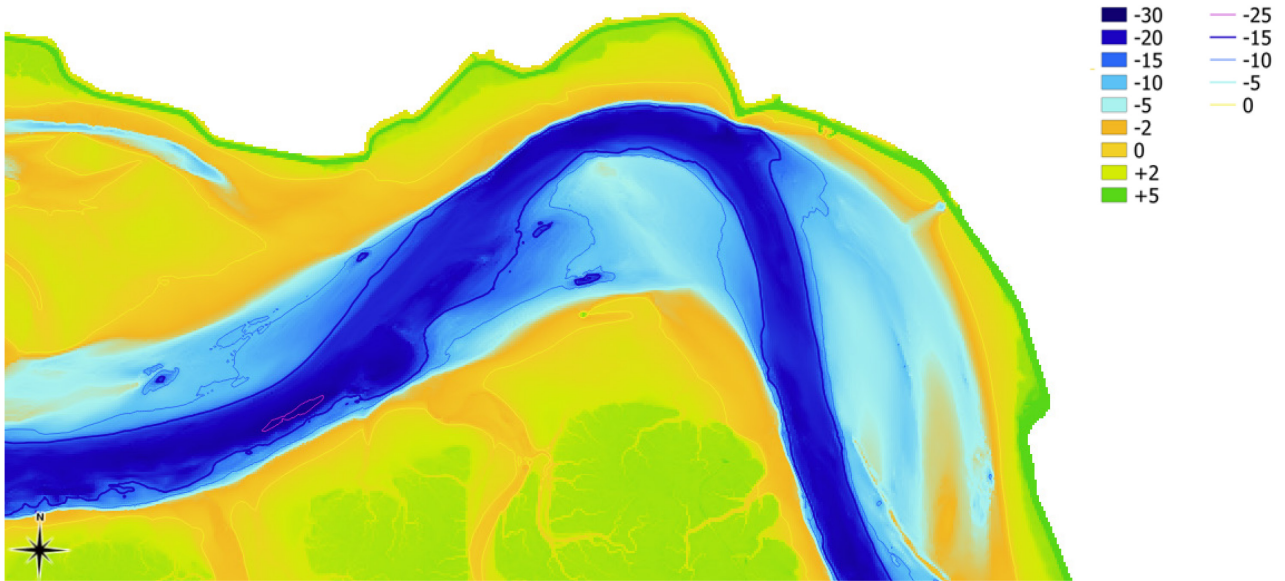
Figuur 20 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 6 voor 1980 (boven) en 1990 (onder)



Figuur 21 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 6 voor 2000 (boven) en 2010 (onder)



Figuur 22 – Bodemligging (in m NAP) macrocel 6 voor 2016



DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be